UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

APLICACIÓN DEL PROGRAMA VENTSIM PARA EL DISEÑO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN, COMPAÑÍA MINERA RAURA S.A - AÑO 2013

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:
Bach. AYALA TOLENTINO, Erix Junior

HUARAZ - 2014

A MIS PADRES, POR SU APOYO INCONDICIONAL EN MI DESARROLLO PROFESIONAL.

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer en primer lugar a mi alma mater Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" quien fue la que me brindo los conocimientos teóricos y prácticos para poderlos aplicar en mi desempeño profesional, para así comparar la teoría con la parte práctica, poder conocer muchos principios, teorías, términos y conocimientos para desempeñarme profesionalmente. También agradecer a los profesionales que laboran.

En forma especial mi reconocimiento y agradecimiento a la Compañía Minera Raura SA y a los colaboradores de la Empresa NOOVA7 SAC, La cual me brindó la oportunidad de desempeñarme profesionalmente en su unidad realizando trabajos que conciernen al presente y la segunda por haber formado el grupo humano del proyecto; así mismo a mis asesores que contribuyeron en el enriquecimiento contextual con sus aportes y sugerencias precisas y objetivas.

Especial gratitud a mis familiares que me brindaron su apoyo incondicional para lograr mi desarrollo profesional y ser útil para la sociedad, mi país, mi región y el pueblo que me vio nacer.

El Autor.

RESUMEN

El presente trabajó de investigación denominado "**Aplicación del Programa Ventsim para el diseño y mejoramiento del sistema de ventilación, Cía. minera Raura S.A-año 2013**", cuyo objetivo general es dar las condiciones necesarias en el circuito II básicamente, mejorando las condiciones de ventilación en interior mina, utilizando adecuadamente los ventiladores y sus accesorios.

Para tales efectos se tuvo que realizar un levantamiento preliminar, el mismo que conllevó a trabajos previos de planeamiento, programación y ejecución.

De este primer levantamiento de ventilación se determinó que las condiciones ambientales no eran las adecuadas, principalmente por la falta de chimeneas de ventilación, raise borer, mala distribución de los equipos diesel, ventiladores de mejor capacidad, inadecuada instalación en la ventilación auxiliar, secundaria y principal, por lo que se sugirió las acciones correctivas del caso, como son: aperturas de chimeneas de ventilación, cambio de ventiladores nuevos y de mayor capacidad, implementación de estándares, PETS, implementación de programas de capacitación en ventilación al personal de mina, programas de control de medición de CO de equipos diesel en interior mina, sistematización del sistema de ventilación de la mina, sugerencias que fueron ejecutadas en coordinación con el personal del área de ventilación y otros que están en proceso.

Se realizó un levantamiento de ventilación (trabajos de campo) con los instrumentos y personal adecuado, luego de realizados los trabajos de gabinete para simulación con el programa Ventsim.

ABSTRACT

The present worked of investigation named **"Application of Software Ventsim for the design and optimization of the ventilation system, Cía. mining Raura S.A-2013",** whose overall objective is to provide the conditions in circuit II basically, improving ventilation conditions inside the mine, properly using fans and accessories, among others.

For such purposes had to make a preliminary survey it, which led to previous work of planning, programming and execution.

In this first lifting of ventilation was determined that environmental conditions were not right, mainly due to lack of ventilation shafts, raise borer, bad distribution of diesel equipment, fans better capacity, inadequate ventilation installation auxiliary, secondary and main, so that corrective actions suggested case such as ventilation shafts openings, new fans change and higher capacity, implementation of standards, PETS, implementation of training programs for personnel mine ventilation, control programs CO measurement diesel equipment inside the mine, ventilation system systematization of the mine, suggestions that were implemented in coordination with the staff of ventilation area and others in the process.

This was followed by a survey of ventilation (field work) with the instruments and staffed. After cabinet work performed and subsequent Ventsim simulation software.

Palabras claves.- La ventilación, personal, producción y Ventsim. Compañía Minera Raura - Año 2013.

INTRODUCCIÓN

La minería es la ciencia encargada de la extracción de los recursos naturales de la tierra. Esta extracción se puede realizar por métodos subterráneos o a cielo abierto, garantizando que las condiciones desfavorables que ocurren en cada momento debido principalmente al consumo de explosivos, al uso de equipos diesel, a la diversidad de labores (galerías, chimeneas, tajeos), a la profundidad de las minas, a la cantidad de personal que labora en cada una de ellas, sean controladas por un sistema de ventilación y de seguridad con el fin de mantener un adecuado desarrollo de la explotación.

El caudal de aire que se debe mantener de manera constante durante la jornada de trabajo tiene la misión de suministrar el aire respirable, además de garantizar la dilución de polvo, gases, e impedir la elevación de la temperatura en las labores, con el fin de disminuir los riesgos que puedan afectar la salud y la integridad física de la principal mano de obra que interviene en el proceso de extracción.

Compañía Minera Raura S.A., desea poner a punto el sistema de ventilación de su mina subterránea teniendo en cuenta las diferentes variables que este sistema involucra, tales como: circulación de aire limpio, evacuación de aire viciado producido por voladuras y motores de combustión interna, personal en determinadas labores, velocidades de flujo, ventiladores, etc.

Actualmente NOOVA 7 realiza el asesoramiento a la Compañía Minera Raura S.A., en la implementación y puesta a punto del sistema de ventilación de la mina, complementado con la simulación en el software Ventsim Visual Avanzado, utilizado en la simulación de sistemas de ventilación de minas subterráneas. El presente trabajo de investigación está constituido por los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I. Generalidades. Relacionado con la descripción del entorno físico como reseña histórica, ubicación, acceso a la mina Raura, del mismo modo la descripción del entorno geológico, también lo que respecta a descripción de las operaciones mineras y aspectos geomecánicos.

CAPÍTULO II. Fundamentos teóricos de la investigación. Se esboza el marco teórico a través del marco histórico, bases teóricas que describen cada una de las variables en estudio. El marco conceptual, referido al sustento de las leyes de los gases perfectos y principios relacionados sobre el conocimiento y aplicación de la ventilación de minas, para mejorar la calidad de aire en las labores mineras. Además se desarrolla la definición de términos básicos.

CAPÍTULO III. El Problema de Investigación. Relacionado con la descripción de la realidad problemática sobre los efectos que causa la adopción, debe implicar la mejora de la calidad de aire de la empresa minera, representada por la unidad minera en explotación anteriormente citados; así mismo ubicamos los antecedentes teórico relacionados con la temática, la formulación del problema, la delimitación de la investigación tanto espacial como temporal y cuantitativa, los alcances de la investigación, los objetivos que persigue el estudio, la justificación, importancia y limitación del estudio.

CAPÍTULO IV. Se indica los resultados y discusión, se detalla los análisis obtenidos, sobre costos del sistema de ventilación y presupuesto de las alternativas planteadas. El presente trabajo de investigación es un aporte al tema de aplicación de la ventilación de minas a nivel de la pequeña y mediana minería. Por último en la parte final las conclusiones y recomendaciones del estudio, la bibliografía referida con sus respectivos anexos.

El Autor.

INDICE

Pág.

Portada.....I

Dedicatoria.....II

Agradecimiento.....III

Resumen-Abstract.....IV

Palabras Claves.....V

Introducción.....VI

Índice.....VIII

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. ENTORNO FÍSICO..... 1

1.1.1. Reseña Histórica..... 1

1.1.2. Ubicación y Acceso..... 2

1.1.3. Clima y Fisiografía..... 3

1.1.4. Geomorfología..... 4

1.2. ENTORNO GEOLÓGICO..... 4

1.2.1. Geología regional..... 4

1.2.2. Geología local..... 5

1.2.3. Geología estructural..... 6

1.2.4. Geología económica..... 7

1.3. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINERAS..... 8

1.3.1. Descripción del Método de Minado..... 8

1.3.2. Operaciones mineras unitarias..... 9

1.3.3. Operaciones mineras auxiliares..... 16

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO (MARCO REFERENCIAL) 17

2.1.1. Antecedentes de la investigación..... 17

2.1.2. Definición conceptual de términos 20

2.1.3. Fundamentación teórica..... 23

2.1.3.1. Ventilación 23

2.1.3.2. Ventilación Subterránea 25

2.1.3.3. Tipos de Ventilación 26

2.1.3.4. Ventiladores para minas subterráneas..... 29

2.1.3.5. Levantamiento de Ventilación 36

2.1.3.6. Aforos (ingresos y salidas de aire) 39

2.1.3.7. Diseño de sistemas de ventilación Minera 40

2.1.3.8. Análisis de redes de ventilación 44

2.1.3.9. Dirección de flujos de aire - isométricos..... 45

2.1.3.10.Caudal de aire necesario en una operación minera 46

2.1.3.11.Evaluación económica 50

2.1.3.12.Programa de simulación de ventilación *(Ventsim)*..... 51

2.1.3.12.Diseño y mejoramiento del sistema de ventilación..... 59

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. EL PROBLEMA. 63

3.1.1. Descripción de la realidad problemática. 63

3.1.2. Planteamiento y formulación del problema. 65

3.1.3. Objetivos..... 65

3.1.3.1. Objetivo general..... 65

3.1.3.2. Objetivos específicos..... 65

3.1.4. Justificación e importancia de la investigación. 66

3.1.5. Limitaciones. 66

3.1.6. Alcances de la investigación. 67

3.2. HIPÓTESIS. 67

3.2.1. Hipótesis General. 67

3.2.2. Sub Hipótesis. 67

3.3. VARIABLES. 68

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. 68

3.4.1. Tipo de investigación. 68

3.4.2. Población y muestra 69

3.4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 69

3.4.3.1. Técnicas 69

3.4.3.2. Instrumentos 70

3.4.4. Forma de tratamiento de los datos. 76

3.4.4.1. Criterios 76

3.4.4.2. Procedimiento 77

3.4.4.3. Restricciones. 82

CAPÍTULO IV RESULTADO DE LA INVESTIGACÍON

4.1. DESCRIPCIÓN DE REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS 84

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS 87

4.2.1. Inventario de Ventiladores 89

4.2.1.1. Ventiladores Principales 89

4.2.1.2. Ventiladores Secundarios 90

4.2.1.3. Ventiladores Auxiliares 91

4.2.2. Requerimiento de aire 92

4.2.2.1. Circuito I "Margot" 92

4.2.2.2. Circuito II "Catuva" 94

4.2.2.3. Circuito III "Flor de loto – Esperanza" 96

4.2.2.4. Circuito IV "Yanco - Abra" 98

4.2.2.5. Circuito V "Gayco" 100

4.2.2.6. Circuito Global 102

4.2.3. Propuesta de redistribucion de circuitos 104

4.2.4. Construcción del RB Catuva 107

4.2.4.1. Análisis de costo energía del raise borer propuesto 107

4.2.4.2. Análisis financiero del raise borer propuesto 108

4.2.5. Alternativas del sistema de ventilación 111

4.2.5.1. Alternativa 01 111

4.2.5.2. Alternativa 02 120

4.2.5.3. Alternativa 03 127

4.2.5.4. Alternativa 04 134

4.2.6. Contrastación de las hipótesis 140

4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 141

4.3.1. Análisis de alternativas propuestas vs el sistema 141

4.3.2. Análisis de detalle de la alternativa 4 145

4.3.3. Curva característica de la Mina 147

4.4. APORTE DEL TESISTA 148

CONLUSIONES 150

RECOMENDACIONES 152

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 154

ANÉXOS 157

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ENTORNO FÍSICO.

1.1.1. Reseña Histórica

No encontramos una historia definida de Raura; sin embargo, los españoles iniciaron su explotación de algunas vetas, a fines del siglo XIX y comentar el nombre de Simón Dunstan, quien según comentan que el mineral se transportaba en acémila en muy poca cantidad; una planta situada en la zona de Quichas. Cuando falleció el señor Dunstan las minas quedaron cerrados hasta el año 1928; fecha en que fue tomada por la *Vanadium–corporation* la cual hizo perforaciones para luego abandonarlos el año siguiente. 1942 la tomó *Cerro de Pasco Cooper – Corporation* en oposición de ventas de los señores Delgado de Oyón, iniciando nuevamente labores de exploración hasta 1948.

Cerro de Pasco Cooper – Corporation en 1945 hizo la compra de gran parte de los denuncios de la zona con excepción de la veta "Batilla" perteneciente a la "Gasuna" Mining Company.

En 1950 la *Cerro Cooper – Corporation* vendió a los señores Delgado de su participación en el denuncio de "Niño Perdido" quienes después de una intensa exploración ubicaron un bolsonado de plomo y zinc, iniciándose en 1952 la exploración a cielo abierto. La Compañía Minera RAURA S.A. inicia sus actividades en 1960, año en que es constituida. Por otro lado, su programa de explotación es de 60,000 TMS mensuales con un valor de 60 $/TM. Como empresa minera polimetálica, es antes que nada productora de concentrados de cobre, plomo y zinc.

1.1.2. Ubicación y Acceso

La Cía. Minera Raura se encuentra ubicada en la cumbre de la Cordillera Occidental divisora continental de aguas, cabeceras de los ríos Huaura y Marañón, límite entre los departamentos de Lima Provincia de Oyón y Huánuco Provincia de Lauricocha, Distrito de San Miguel de Cauri.

Ubicación: ***(VER EL ANEXO N° 02)***

Distrito	San Miguel de Cauri
Provincia	Lauricocha
Departamento	Huánuco
Altura	4630 m.s.n.m (BM Catuva)

Coordenadas Geográficas:

Latitud	10° 26′ 30′′ S
Longitud	76° 44′ 30′′ N
Coordenadas U.T.M	8 845, 500 N 309, 700 E

Acceso: El acceso a la Cía. Minera Raura se da:

1.- Lima vía Carretera Panamericana Norte, altura Km 103 toma un desvió Rio seco hacia Sayán (50 Km), carretera Churín y finalmente Raura (124 km), total: 277 km.

Cuadro N° 01: Itinerario a Mina Raura.

DESDE	HASTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (hh:mm)	TIPO DE CARRETERA
Lima	Huacho	103	02:30	Asfaltada
Huacho	Sayán	50	00:40	Asfaltada
Sayán	Churin	62	02:00	Afirmada
Churin	Oyón	40	01:20	Afirmada
Oyón	Raura	22	00:45	Asfaltada
TOTAL		**277**	**07:15**	

Fuente: Adaptación del investigador.

1.1.3. Clima y Fisiografía

El clima es frio, con temperaturas de 0° a 4° C y de 12° C en días soleados, y casi no existe vegetación. En el distrito de Oyón, puede decirse que está el embudo de las nacientes del río del mismo nombre, cuyas aguas abajo del pueblo de Churín se junta al río de Checras, para formar el río Grande, el cual unido en Sayán al río Chico, que baja al pié de la población de igual nombre, ubicado al norte del puerto de Huacho. Aunque la cordillera se muestra sensiblemente con más nieve perpetua por el lado de las alturas de Quichas, no puede decirse que sus nevados brinden mucha agua al río de Oyón, con todo no negaremos que con lo que se derrite en verano se contribuye a regularizar algo de su régimen. En donde puede decirse se siente mejor la acción de los nevados, sobre el régimen de los ríos, es en la falda oriental de la misma cordillera; mejor dicho, por Pichuicocha y por Santa Ana, Antapallanca y Lauricocha, que es por donde surge de los brazos que dan nacimiento al río Marañón, después de pasar por Rondos.

1.1.4. Geomorfología

- Ríos más importantes: Huallaga al centro, Marañón al oeste, Pachitea al este.
- Lagunas: Carpa, Lauricocha, Chuspicocha, Tinquicocha, Taulicocha, Niñococha, Caballococha y Pichgacocha.

Hidrogeológicamente, la cuenca presenta dos sistemas de acuíferos, los acuíferos porosos no consolidados conformados por sedimentos cuaternarios y los acuíferos fisurados conformados por rocas volcánicas y sedimentarias con porosidad secundaria. La totalidad de los niveles productivos explotados hasta la fecha corresponden a sedimentos cuaternarios del valle del río Huaura, salvo el caso de los acuíferos fisurados que dan origen a las fuentes termales utilizadas con fines turísticos; así como los acuíferos cársticos ubicados al noreste.

1.2. ENTORNO GEOLÓGICO.

1.2.1. Geología regional

A. Litología

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias que afloran en los alrededores de la Mina Raura pertenecen a la secuencia estratigráfica del Cretáceo.

Las más antiguas se exponen al Sur Oeste y Oeste, pertenecen al Cretáceo Inferior (Grupo Goyllarizquizga) y están representadas por las formaciones Chimú y Carhuáz.

En contacto por sobre-escurrimiento se presentan la franja calcárea de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín inferior, con potencia total de 1,200 metros.

La formación Jumasha ocupa la mayor área aflorante y tiene un espesor de 800 mts. Es la más importante por que alberga los yacimientos minerales.

Rocas ígneas

La actividad ígnea se ha definido en el área y en base a las últimas reinterpretaciones que integra los estudios de la Geología de superficie efectuada por el Departamento de Exploraciones de la Compañía; con los estudios micropetrográficos de muestras representativas del distrito (H. Candiotti 1,982), se considera tres fases de actividad ígnea en un lapso geológico comprendido entre 8 a 11 millones de años.

1.2.2. Geología local

Pliegues

Las fases compresivas han plegado los sedimentos cretáceos formando los anticlinales de Cachipampa, Pucush y Patón, en una orientación NW - SE e inclinados hacia su flanco occidental. En menor magnitud se tiene zonas disturbadas locales asociados a los plegamientos mayores.

Sobreescurrimientos

En el área de Raura la secuencia cretácea presenta una base "lubricante" constituida por las lutitas Oyón, que permitió la formación de pliegues invertidos y sobreescurrimiento por esfuerzos compresivos. Producto de este fenómeno se tiene el sobre escurrimiento de Colquicocha que pone a "Cabalgar" a la formación

Jumasha sobre la formación Celendín. Hacia el Noroeste el sobre escurrimiento Mancacuta pone a la formación Chimú plegada sobre los magmas Celendín.

1.2.3. Geología estructural

- Teniendo como patrón estructural los Andes Centrales del Perú, el anticlinal Santa Ana y el sinclinal Caballococha son los plegamientos más importantes del área con rumbo N 20^0 - 30^0 W. El sobre escurrimiento al suroeste pone en contacto areniscas y cuarcitas del grupo Goyllarizquizga con las calizas Jumasha.
- Debido a fuerzas compresionales E-W se han producido varios sistemas de fracturamiento N 65^0 - 80^0 W (vetas Gianinna, Abundancia, Roxana, Torre de Cristal, Flor de Loto). Fallamiento local en bloques es un patrón estructural importante en Catuva.
- Teniendo como patrón estructural los Andes Centrales del Perú, en el cretáceo superior se dieron etapas de plegamientos fallamientos y plutonismo, producto de esfuerzos de compresión SW–NE.
- Como sistema de fallas de primer orden producto del sistema compresivo en alineamientos N-S de Oeste a Este se tiene la gran falla regional Chonta, que actúa como falla inversa colocando la secuencia continental del goyllar con la secuencia calcárea del cretáceo.
- Está gran falla es la zona de debilidad de la corteza y que estaría conectada al manto por donde hicieron ascenso los intrusivos, más al Este se presentan como sobre escurrimientos las fallas Restauradora, Raura y Tinquicocha.
- En las últimas etapas de actividad tectónica, por acción de estas mismas fuerzas, originan fallas regionales que atraviesan el Distrito Minero de Raura, representando una reactivación del sistema NE, desplazando a los sistemas NW y Norte.

1.2.4. Geología económica

A. Mineralización

El período de mineralización en el Distrito Minero de Raura, se produjo probablemente entre los 8 a 10 millones de años con formación de minerales de Cobre, Zinc, Plomo y Plata.

La mineralización se presenta principalmente como relleno de fracturas preexistentes (vetas), reemplazamientos metasomáticos de contacto (bolsonadas en Skarn) y depósitos tipo Stock Work.

Mineralización en vetas

Dos sistemas de fracturamiento son los que contienen toda la mineralización de vetas en Raura.

El sistema más importante tiene rumbo N 60° W a E-W. El otro sistema tiene rumbo N 65° - 80° E.

Existe un zoncamiento marcado en la mineralización de Raura, al norte las vetas tienen minerales de Cobre y Plata, al sur se mineralizaron los valores de Plomo y Zinc.

Mineralización en cuerpos

En la zona de contacto metasomático (exoskarn) de las calizas Jumasha y los intrusivos pórfido cuarcíferos, se presentan cuerpos o bolsonadas con minerales de Zinc, Plomo y Plata.

El cuerpo de skarn con reemplazamiento de zinc – plomo más importante en el distrito minero de Raura tiene una dirección de rumbo N 30^0 W con buzamiento de 70^0 W. El halo de alteración metasomático (exoskarn) tiene una potencia de 50 – 60 m. y una longitud de 900 – 1000 m, a lo largo de esta alteración se emplazan

los cuerpos de Sur a Norte Primavera, Betsheva, Catuva y Niño Perdido, la mineralización se presenta con reemplazamiento de esfalerita, marmatita, galena, calcopirita y diseminación de pirita. Hacia la caja techo en contacto con el intrusivo se forman cuerpos de pirita sacaroide. La mineralización en este cuerpo presenta un zoneamiento vertical en la parte alta se observa mayor contenido de valores zinc, plomo, plata y en el centro (nivel 490) se observa mayores valores de zinc disminuyendo los valores de plomo. Y en profundidad (nivel 380) se incrementa los valores de cobre.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINERAS.

1.3.1. Descripción del Método de Minado

La explotación del yacimiento es mediante el sistema de minado subterráneo, empleando el método de explotación de corte y relleno (Cut and Fill) ascendente mecanizado con perforación en Breasting y Realce y método por subniveles (Sublevel Stoping).

A. Corte y Relleno (Cut and Fill)

Este método es el más utilizado en la compañía Minera Raura debido a que la geología del macizo rocoso se adapta en un 85%. Es un método ascendente (realce). El mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando verticalmente.

Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril, que sirve de piso de trabajo a los obreros y al mismo tiempo permite sostener las paredes del caserón, y en algunos casos especiales el techo.

B. Minado por Subniveles (Sublevel Stoping)

Este método es conocido también con el término "sublevel stoping" y consiste en dejar cámaras vacías después de la extracción del mineral. El método se caracteriza por su gran productividad debido a que las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral. Para prevenir el colapso de las paredes, los cuerpos grandes normalmente son divididos en 2 o más tajeos; la recuperación de los pilares se realiza en la etapa final del minado.

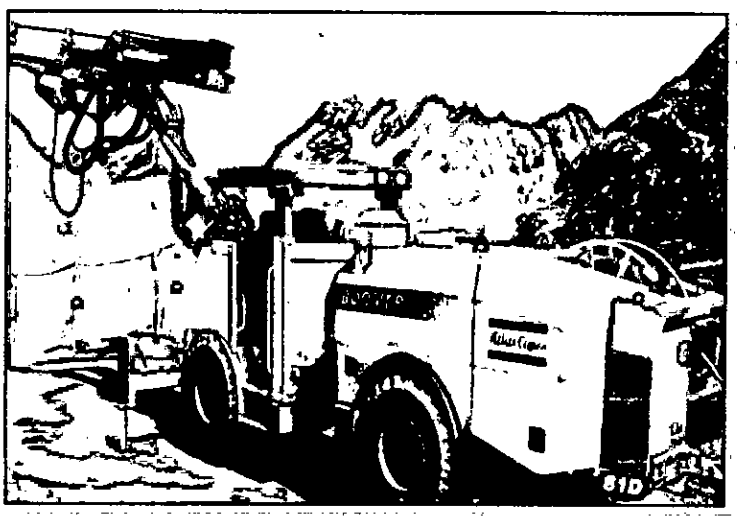
En este método, el minado se ejecuta desde los niveles para predeterminar los intervalos verticales. Los subniveles son desarrollados entre los niveles principales; el mineral derribado con taladros largos o desde los subniveles cae hacia la zona vacía y es recuperado desde los draw-point.

1.3.2. Operaciones mineras unitarias.

A. Perforación.

La perforación es parte principal del ciclo de minado, siendo el inicio de la operación unitaria, se realiza con los Jumbos.

Figura N° 01: Jumbo Boomer S1D.



Fuente: División Mina Raura.

A. Perforación en Breasting.

La perforación se realiza con una malla rectangular que varía de acuerdo al tipo de roca, variando de una malla de 0.50m x 0.50m hasta una malla de 1.00m x 1.00m, los taladros de corona (Smooth Blasting) se perforan a cada 30cm como mínimo y el carguío se realiza intercalado quedando el taladro vació como taladro de alivio para evitar el sobre fracturamiento en la corona; el burden no debe ser mayor que 0.50m y 1.00m respectivamente.

B. Perforación en Realce.

La perforación se realiza con una malla rectangular que varía de acuerdo al tipo de roca, variando de una malla de 0.5m x 0.5m hasta una malla de 0.6m x 0.6m, el burden no debe ser mayor que 0.5m y 0.6m respectivamente para cada tipo de malla. Esta perforación se realiza paralela al buzamiento de la veta.

C. Perforación en avance.

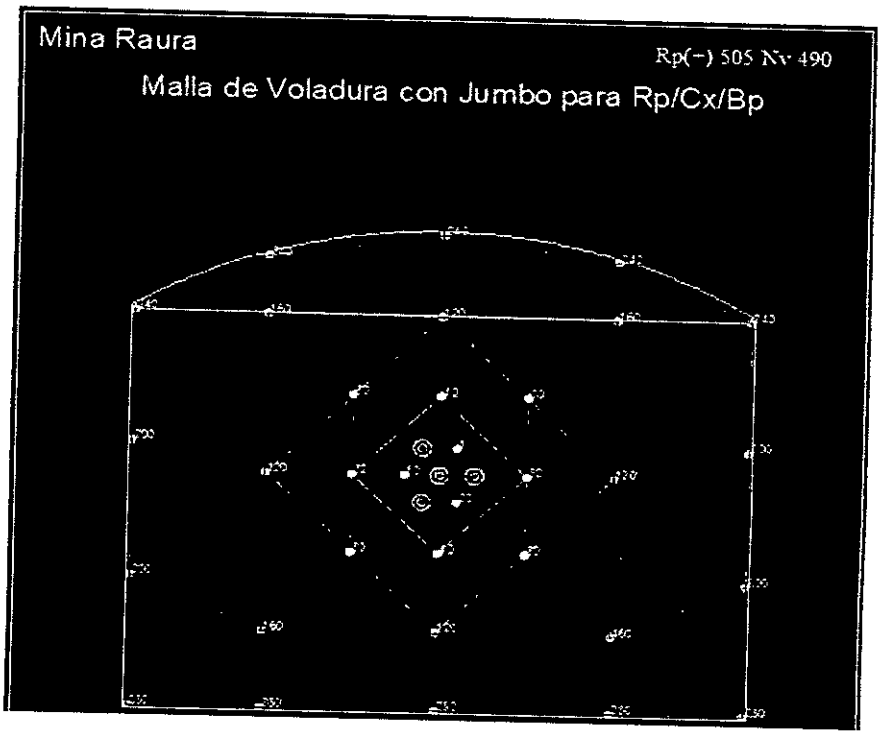
En la perforación en avance los taladros son paralelos a la inclinación que tenga el avance con una profundidad de 3.60 m, con un diámetro de 45 mm de 7 botones, para esta tarea se tiene establecida plantillas (mallas de perforación) para perforación; en los cuales en número de taladros variara de acuerdo al tipo de roca y a la sección con la que se avanza.

D. Perforación con Jack leg en veta.

✓ La perforación en vetas se realiza mediante taladros paralelos, ubicados en la corona, perpendicularmente al piso, con una ligera inclinación hacia la cara libre para que el mineral roto pueda ser proyectado con mayor facilidad.

✓Estos taladros se perforan con máquinas Jack leg, usando barrenos cónicos de 4, 6 y 8 pies dependiendo la sección de la veta y la calidad de roca. Se perfora con brocas de 38 y 41mm.

Figura N° 02: Diseño de la malla de perforación.



Fuente: Área perforación y voladura Mina Raura.

Cuadro N° 02: Estándares de perforación y voladura.

Estándares de Perforación y Voladura		
Longitud Barreno	3.66	m (12pies)
Diámetro taladro de Producción	45	mm
Diámetro Taladro de Alivio	100	mm
N° Taladro de Producción	33	Tal
N° Taladro de Alivio	4	Tal
Tiempo Promedio por Taladro	3.42	min
Tiempo Neto de Perforación	2.93	min
Tiempo Total Promedio	3.42	min
Avance	3.5	m
Sección	10.5	4x4 m
Peso especifico	2.7	Tn/m3

Fuente: Área perforación y voladura Mina Raura.

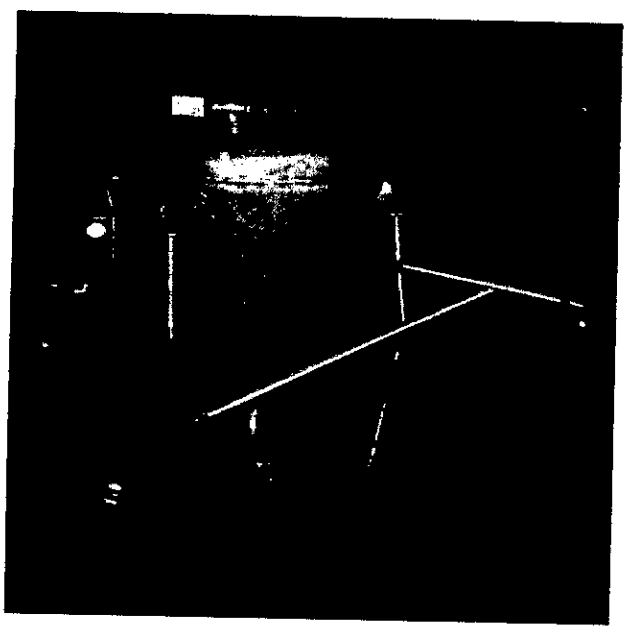
B. Voladura.

La voladura es otra operación unitaria del proceso productivo y para lograr una voladura eficiente la perforación debe cumplir con todos los parámetros de diseño (Burden, espaciamiento, paralelismo entre los taladros, limpieza y profundidad); como también los parámetros de voladura deben ser las adecuadas para lograr que el material roto cumpla con las necesidades:

* Fragmentación adecuada
* Menor taco posible
* Evitar tiros soplados, cortados y anillados.
* Evitar el sobre rotura en la corona

La voladura es eficiente cuando se realiza un buen diseño de voladura y el empleo de agentes y accesorios adecuados para cada tipo de labor; variando entre el breasting y el avance. El carguío se realiza con el equipo de anfoloader.

Figura N° 03: Anofoloader (Etanol)



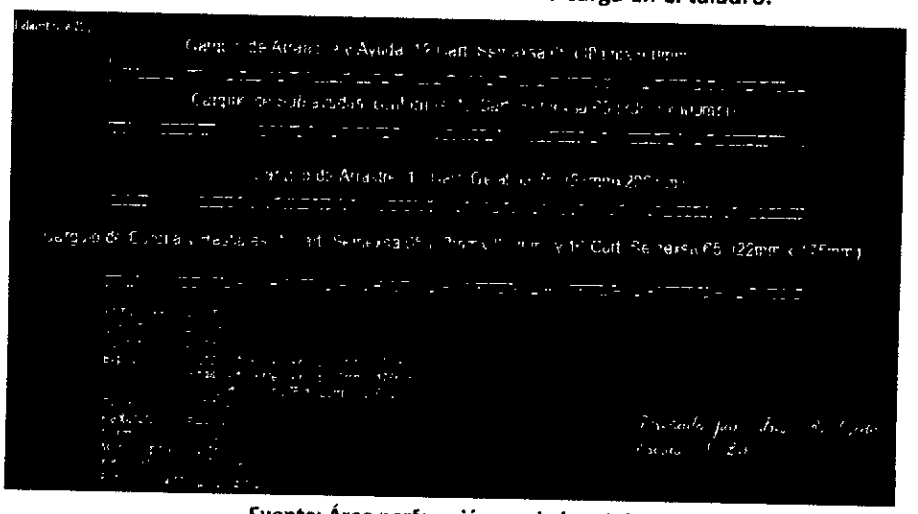
Fuente: Área perforación y voladura Mina Raura.

E. Agente y accesorios de voladura.

Para la voladura en tajeos y avances se está usando el agente de voladura ANFO (Nitrato de amonio + Petróleo) y dinamita.

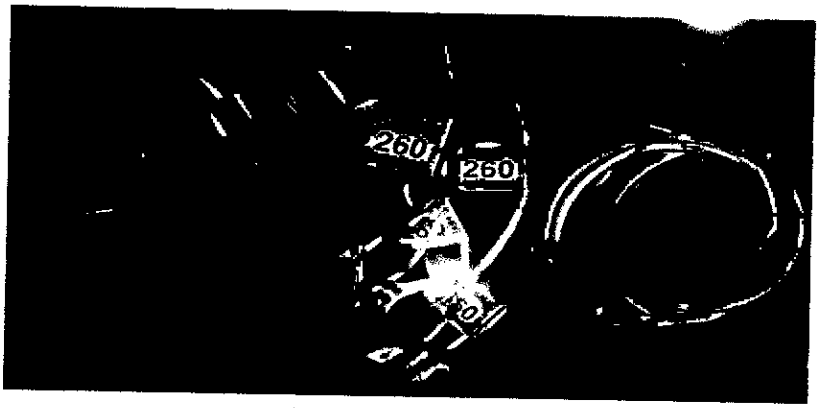
Como accesorios de voladura se emplea fulminante EXANEL no eléctrico de período corto (MS) para tajeos breasting y largo (PL) en los avances, guías de seguridad (Carmex), cordón detonante (pentacord 3p) y mecha rápida.

Figura N° 04: distribución de la carga en el taladro.



Fuente: Área perforación y voladura Mina Raura.

Figura N° 05: Accesorio de voladura.



Fuente: Área perforación y voladura Mina Raura.

F. Voladura en labores.

El método de carguío es neumático, se inicia con el reconocimiento de los taladros y luego se procede a la limpieza y

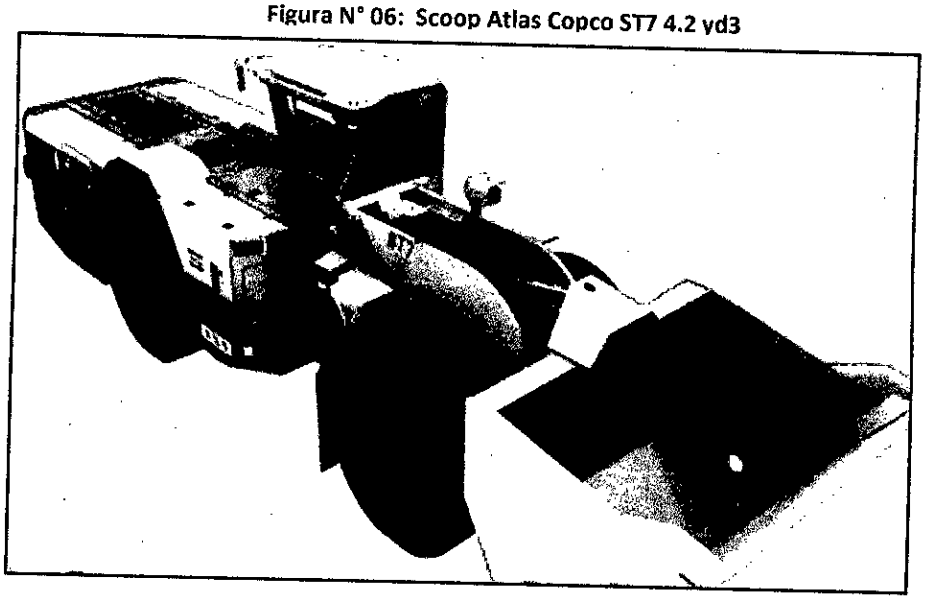
sopleteo con aire comprimido una vez cargado el cebo se prosigue el carguío del explosivo, luego se realiza el amarre de los exaneles con el cordón detonante sujetándolo a un costal de Anfo con rocas en el interior y dejando una cola de 1.0 m.

En donde se amarra el carmex (2 unidades) para iniciar la voladura.

C. Limpieza y Acarreo

La limpieza de mineral, se realiza con equipos de bajo perfil (Dumper y Scoop) teniendo como vía rampas y/o subniveles de acceso con dirección a los hechaderos.

Figura N° 06: Scoop Atlas Copco ST7 4.2 yd3



Fuente: E.E. AESA.

El transporte o extracción de mineral se realiza por la Bocamina Catuva que es el Nivel 4630, el echadero se encuentra en distintos niveles.

El transporte de mineral se realiza con los Scoops a las cámaras, luego prepararlos en la cámara de carguío para su posterior carguío a los volquetes.

D. Sostenimiento

La actividad de realizar sostenimiento de una labor minera, es la etapa en la que se remedia y/o controla la inestabilidad del macizo rocoso, el sostenimiento es la garantía de una labor segura, cumpliendo de esta manera con las normas de seguridad para el laboreo minero.

Es parte de la operación unitaria realizar el sostenimiento, empleando para este fin elementos de sostenimiento de acuerdo al tipo de roca, labor ejecutada y su clasificación respectiva, haciendo uso del pasaporte de geomecánica interno de la mina, como el perno cementado, shotcrete c/s fibra, cimbras metálicas, encofrado de concreto, cuadros de madera, cuadros cojos, puntales de seguridad, split set (diámetro 39 mm) y malla electrosoldada; estos elementos de sostenimiento pueden ser combinados de acuerdo a las características del terreno y el grado de seguridad que se requiere, en este caso se pueden emplear sostenimiento temporal (en tajeos), y sostenimiento permanente en niveles y rampas principales.

Figura N° 07: Puntal de seguridad.

Fuente: División Mina Raura.

1.3.3. Operaciones mineras auxiliares.

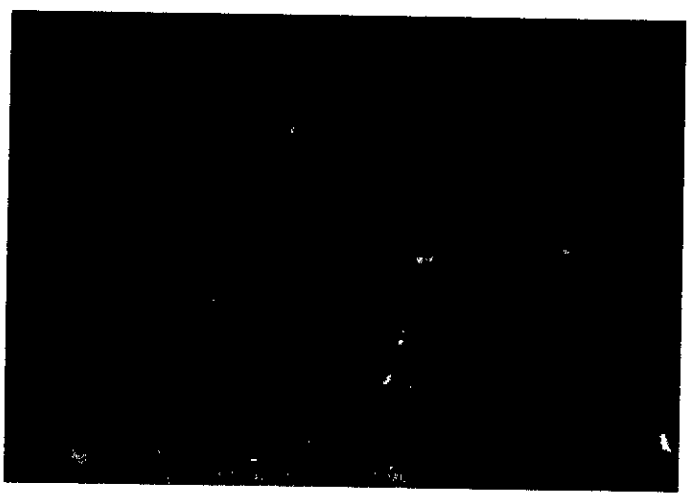
a. Relleno

El tipo de relleno que se utiliza en toda la mina Raura, es Detrítico e Hidráulico. El material de relleno puede estar constituido por desmonte, a lo que se le llama relleno detrítico procedente de las labores de preparación de la mina las que se distribuyen sobre la superficie del tajeo. También el material de relleno puede ser de relaves, este ingresa a la mina como relleno hidráulico, que son transportados al interior de la mina y se distribuyen mediante tuberías, posteriormente el agua es drenada quedando un relleno competente.

b. Ventilación.

Para agilizar las operaciones unitarias se utiliza ventilación eléctrica desde 8,000 CFM hasta 132,000 CFM haciendo un total de 60 ventiladores y se emplea la manga de ventilación (diámetro 24" 28", 36" y 42") para introducir el aire limpio a las labores mineras. El área de ventilación ha establecido circuitos principales de ventilación a fin de llevar mejor control de la ventilación de las operaciones mineras.

Figura N° 8: Ventilador Extractor 100,000 cfm.



Fuente: El investigador

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO (MARCO REFERENCIAL)

2.1.1. Antecedentes de la investigación.

Se expone teorías o avances de estudios ya realizados, relacionados al título de la investigación.

A Nivel Internacional:

- ✓ Autor, PARODY PONTON, Luis. "Estudio de optimización del sistema de ventilación y de las condiciones de seguridad de la mina la Orquídea".

  Este proyecto permite describir las condiciones de ventilación y seguridad referida a esta mina que realiza la explotación del carbón. La investigación se realizó en una mina ubicada en el departamento de Norte de Santander (Colombia), año 2009.

- ✓ Autor, ALEJANDRO NOVITZKY. Ingeniero de Minas e Ingeniero Geólogo. Ex profesor de explotación de Minas de la Universidad de Chile–1962, trabajo. "ventilación de minas - ventiladores para Minas, acondicionamiento del aire incendio subterráneo y salvamento".

Cuyas consideraciones principales son:

Se considera lo fundamental las propiedades físicas del aire y aerodinámica minera, dentro de ello tenemos propiedades físicas del aire y parámetros básicos del aire, en lo cual se considera que en la ventilación de minas se utiliza el peso específico estándar P.E. = 1.2 kg. /m3; que es el peso de 1 m3 de aire, con la presión de 1 atm. ; Temperatura de 15° y la humedad de 60 %, las resistencias de las labores mineras al movimiento de aire se divide en arbitrariamente en 3 tipos como resistencia de rozamiento de aire contra las paredes de la labor y de las partículas entre sí, resistencias locales y resistencias frontales.

A Nivel Nacional:

Dentro de las principales tesis relacionadas con las variables de estudio, se ubicaron los siguientes:

Trabajos de investigación a nivel nacional.

- ✓ Autor, URRUTIA ROMERO, Eloy; trabajo de investigación con título "Sistemas de ventilación en minas subterráneas" presentada en la UNMSM el año 2002. Básicamente en este trabajo de investigación habla de la mina San Vicente y está más profundizada al trabajo de mecánica de fluidos como son método analítico (leyes de Kirchoff), método computacional (Hardy-Cross), etc. El software que utiliza en este trabajo de investigación es VnetPC.

- ✓ Autores, AGÜERO ZARATE, Henry & ALVAREZ TICLLASUCA, Helsias; trabajo de investigación con título "influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa - Arequipa" presentada en la universidad de Huancavelica el año 2012.

  En este trabajo de investigación trata más referido a la ventilación natural y de una sola labor como es la galería 1950 (GL-1950) sin ningún uso del software de ventilación.

- ✓ Autor, Ing. MALLQUI TAPIA, Aníbal (2006); trabajo con título de "Ventilación de Minas", cuyas características establece:

  El trabajo de ventilación de minas tiene por objeto suministrar a las labores en operación suficiente aire fresco en función a las necesidades del persona, equipo diesel autorizado y dilución de contaminantes; de modo que la atmosfera en dichas zonas mantenga sus condiciones termo - ambientales en compatibilidad con la seguridad, la salud y el rendimiento del personal.

  En base a lo expresado, me complace brindar el presente proyecto, desarrollado técnicamente y acorde a la reglamentación vigente, producto de una variada recopilación de obras de la especialidad y de conocimientos y experiencia adquiridos en el ejercicio de la profesión en diferentes empresas mineras y las universidades.

- ✓ Autor, GIMÉNEZ ASCANIO, Pablo Ingeniero de Minas; trabajo con título "aplicación en Minería clásica: ventilación de Minas subterráneas y túneles". Cuyas principales conclusiones establece:

Ejecución del mapeo de ventilación de una mina para determinación del volumen del aire que circula y la evaluación de la ventilación de la mina,

la ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de la ventilación pre establecidos y determinar el sentido de avance del aire mediante bombilla de humos.

2.1.2. Definición conceptual de términos

2.1.2.1. Diseño del sistema de ventilación

Para determinar los parámetros principales del diseño de ventilación, se considera, la densidad de aire, el coeficiente de fricción y la presión de la ventilación natural, etc.

También es fundamental la determinación del requerimiento de aire para la cantidad de personas que trabajan, por la cantidad de consumo de explosivos y por el uso de equipos diesel; para ello es necesario determinar la capacidad del ventilador, caída de presión, diámetro de la manga, longitud de la manga y costos apropiados.

2.1.2.2. Mejoramiento del sistema de ventilación

Mejoramiento del sistema de ventilación se refiere a una gama bien amplia pero en resumen se ha tenido en cuenta los siguientes aspectos:

Medidas de caudales y características físicas del aire, elaboración de esquemas de ventilación adecuados para cálculos de los parámetros usando informática; los cuales caracterizan la ventilación como: resistencia, presión, etc.

Evaluación de los resultados en comparación con los caudales necesarios según legislación vigente, determinación de puntos críticos y medidas para su solución.

2.1.2.3. Cobertura de aire.

Con el resultado del balance, se procederá a determinar las necesidades de aire para el equipo, el personal de mina y también las necesidades para diluir los contaminantes físicos (polvo) y químicos (gases de voladura). La data de campo es importante para definir las zonas críticas; para ello, se realizan controles de la calidad de aire.

El volumen de aire que cubre las necesidades integrales de la mina, determina si el sistema en que está operando la mina es bueno o deficiente. A partir de esta información se podrá elaborar la propuesta de las alternativas de solución. Esta cobertura tiene que ser aproximadamente entre 90% a 100%.

2.1.2.4. Ventsim visual avanzado

Software de ventilación computacional que permite la simulación de grandes modelos de ductos subterráneos, el cual busca hacer el diseño y simulación de una red de ventilación.

2.1.2.5. Circuito de ventilación.

En ventilación de minas hay dos tipos de combinación de galerías por donde fluye el flujo de los sistemas de ventilación; y son flujos en serie a través de galerías en línea y flujos en paralelo a través de galerías en bifurcaciones hacia paralelo y ambas se acoplan una después de la anterior formando una red, la cual tiene que ser calculada en volúmenes y resistencias para conocer la resistencia o estática total de la red y sus volúmenes y poder pedir el ventilador adecuado.

2.1.2.6. Condiciones ambientales

Se refiere a los gases y polvos de mina, a continuación se detalla respectivamente. La ventilación es necesaria para remover gases pestilentes y dañinos. Por lo tanto es necesario tener un conocimiento básico de los gases existentes o gases comúnmente encontrados en socavón.

El polvo de minas es un conjunto de partículas que se encuentran en el aire, paredes, techos y piso de las labores mineras. Cuando el polvo se encuentra en el aire, forma un sistema disperso llamado "aerosol", puede permanecer en él un largo tiempo, dependiendo esto de varios factores, a saber: finura del polvo, de su forma, peso específico, velocidad del movimiento del aire, su humedad y temperatura.

2.1.2.7. Resistencias Locales y Factor de Fricción.

Se dijo que las pérdidas por choques son de origen local, producidas por turbulencias, remolinos, frenadas, etc. del aire al enfrentar diversos accidentes dentro de un circuito de ventilación y no necesariamente estas pérdidas deben estar presentes en todas las galerías de ventilación; ellas, además de depender del tipo de accidente de que se trate cambios de dirección, entrada, contracción, etc. Factor de fricción viene referido a como es geométricamente la labor.

2.1.2.8. Regulación de Circuitos.

Con el fin de lograr una distribución adecuada del caudal de aire en los circuitos de ventilación, es necesario efectuar una

regulación para obtener el equilibrio de la caída de presión en las diferentes ramas; esta regulación se puede hacer disminuyendo o aumentando la caída de presión de una determinada galería. El disminuir la caída de presión significa alisar las paredes de la galería, comúnmente mediante el concreto, de esta manera se disminuye considerablemente el factor "α"; también es posible mediante el aumento del área de la galería o correr otra paralela a ella. Para aumentar la caída de presión se colocan reguladores con el fin de aumentar las pérdidas por choque.

2.1.2.9. Leyes de Kirchhoff.

Aunque estas leyes fueron desarrolladas con respecto a circuitos eléctricos, ha estado siendo aplicado a circuitos de ventilación usando análisis de la analogía. Primera ley de Kirchhoff. El caudal de salida de una conjunción será igual al caudal de entrada de la conjunción. Segunda ley de Kirchhoff. La suma de las caídas de presión en una malla cerrada deberá ser igual a cero.

2.1.3. Fundamentación teórica

2.1.3.1. Ventilación

La ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, equipo diesel y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudiera afectar la salud del trabajador [1]. Todo sistema de ventilación en la

[1] ANGEL TAPIA, Fernando. (2012). "*Ventilación de minas subterráneas*", Diplomado (BS-grupo), Lima-Perú.

actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad de aire, deberá mantenerse dentro de los límites máximos permisibles siguientes:

Cuadro N° 03: LMP para Agentes Químicos.

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional	
		Mínimo	Máximo
1	Anhídrido Sulfuroso (SO_2)		5 ppm
2	Dióxido de Carbono (CO_2)		5000 ppm
3	Dióxido de Nitrógeno (NO_2)		3 ppm
4	Metano (CH_4)		5000 ppm
5	Monóxido de Carbono (CO)		25 ppm
6	Monóxido de Nitrógeno		25 ppm
7	Oxígeno (O_2)	19.50%	22.5%
8	Polvo inhalable		10 mg/m^3
9	Polvo respirable		3 mg/m^3

Fuente: D.S. 055-2010-EM, Anexo N° 4.

La demanda de aire fresco en interior mina (de acuerdo con el número de personas y con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna), ha sido calculada de acuerdo a la norma en base al D.S. 055-2010-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. ***(VER EL ANEXO N° 07)***

Cuadro N° 04: Requerimiento de aire.

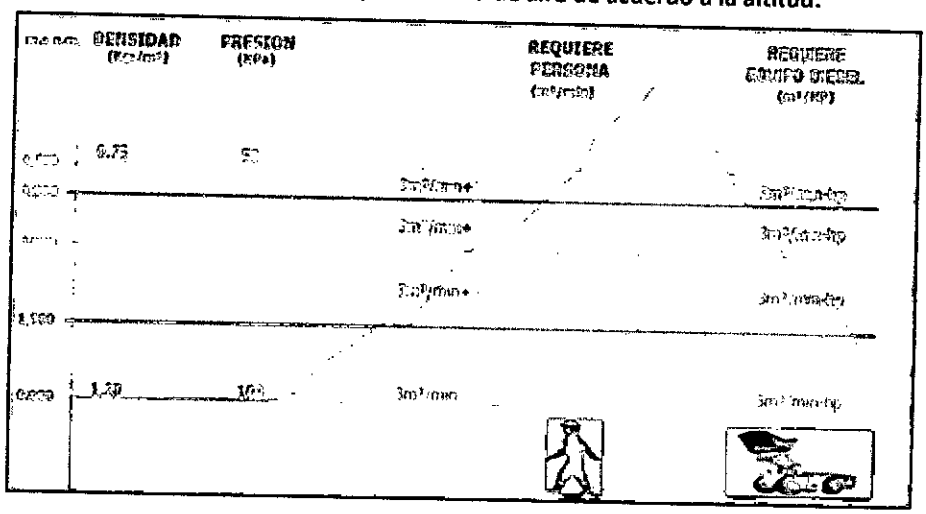
Requerimiento de Aire (DS-055-2010-EM, Art. 236)			
Personal	0 a 1500 m.s.n.m.	3 m^3/min	106 cfm
	1500 a 3000 m.s.n.m.	4 m^3/min	141 cfm
	3000 a 4000 m.s.n.m.	5 m^3/min	177 cfm
	a más de 4000 m.s.n.m.	6 m^3/min	212 cfm
Diesel	Por cada HP	3 m^3/min	106 cfm

Fuente: D.S. 055-2010-EM, Art. 236°.

En ningún caso la velocidad del aire será menor de 20 metros por minutó ni superior a 250 metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando, cuando se emplee ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25

metros por minuto [2]. Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con lo antes señalado, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares según las necesidades.

Figura N° 9: Requerimiento de aire de acuerdo a la altitud.



Fuente: Adaptación del investigador.

2.1.3.2. Ventilación Subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una manga, la manga se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como auxiliar, en oposición a la que

[2] Decreto supremo 055-2010-EM, Art. 236°, inciso d) y e), **ventilación.**

recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie, mientras las secundarias actúan como apoyo a las principales ya sea como inyectores o extractores. Principios de la ventilación es por:

- Dos puntos de diferente presión ($>P_2$ a $<P_1$)
- Diferencia de temperaturas ($> T°_2$ a $< T°_1$) [3]

2.1.3.3. Tipos de Ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada; impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa el aire al interior de la mina, en el caso de aspirante el ventilador succiona el aire del interior mina.

a) Ventilación Natural

El caudal de aire es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones, el movimiento de aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un

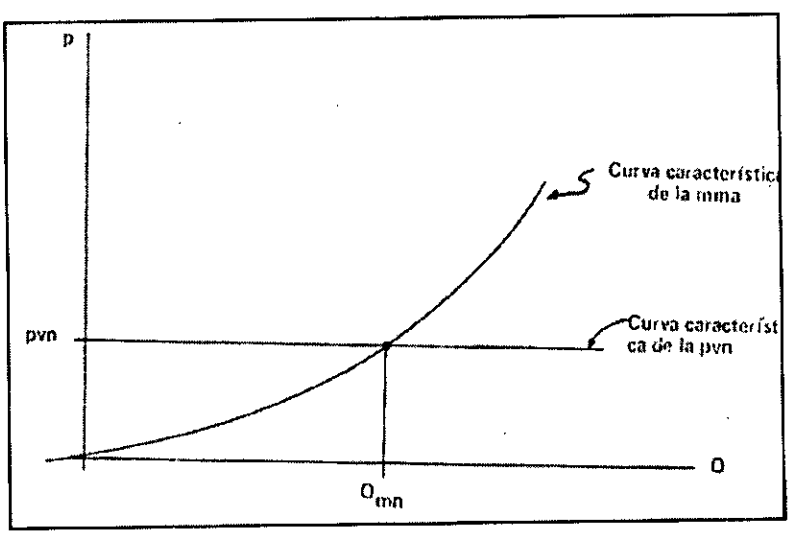
[3] LUQUE CABAL, Vicente. (1980). "*Manual de ventilación de Minas*" tomo I, Madrid-España, pp. 58-59.

ducto, por causas naturales (gradiente térmica). Causas del movimiento de aire: [4]

- En una mina que cuente con labores horizontales hasta verticales existirá una diferencia de peso entre el aire superficial y del interior, equivale a la altura H.
- En verano, el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de la galería obligando a que el flujo ingrese por la chimenea y salga por la galería. Pero por las noches es difícil predecir.
- En el invierno se invierte el proceso. En otras estaciones es difícil predecir.

Aunque la presión de ventilación natural es un fenómeno estacional que depende de la diferencia de temperatura existente entre el interior de la mina y el exterior.

Figura N° 10: Curva característica de PVN



Fuente: LUQUE CABAL, Vicente. "Manual de ventilación de Minas" tomo I.

[4] LUQUE CABAL, Vicente...Op.Cit.- pp. 60-64.

- **Ventiladores Secundarios (Booster)**

  Complementan la presión proporcionada por el sistema de ventilación principal, de tal forma que vence la resistencia de algunos ramales que resulten críticos dentro del circuito. Ventilador que se encarga de mover el aire al interior de la mina entre niveles o que ayuda a movilizar aire hacia los ventiladores principales.

- **Ventiladores Auxiliares**

  Son aquellos ventiladores que se emplean en las labores subterráneas que no forman parte de la red de ventilación principal de la mina y que se conoce como frentes ciegos. Las labores que requieren ventilación auxiliar tienen una sola comunicación con la red principal, lo que impide que se pueda establecer un circuito en el que intervengan dichas labores. Estos a la vez se dividen en ventilación impelente e aspirante, donde la primera se desarrolla de la siguiente manera. El aire ingresa al frente a través de la manga u otro elemento impulsado por ventiladores y desplaza la masa de aire viciado hacia la corriente principal de aire a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en las minas. [7]

- **Ventiladores en serie**

  La curva característica para la combinación en serie se obtiene agregando las presiones del ventilador individual para cada valor de corriente de aire.

---

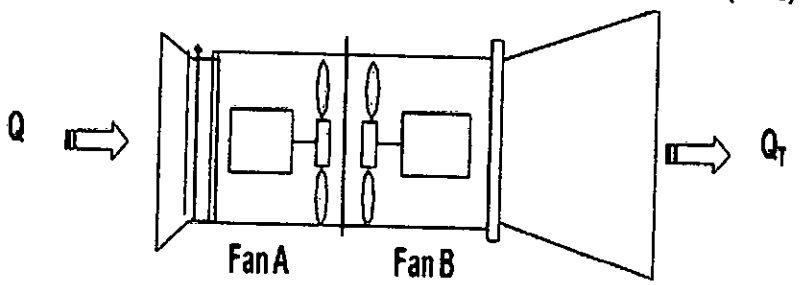
[7] JIMENEZ ASCANIO, Pablo. (2013). **"Ventilación de minas subterráneas"**, versión 2.0, Lima-Perú, p.49.

El punto que opera eficazmente se localiza en C, donde la curva de resistencia intercepta la característica combinada.

A través de los ventiladores a y b pasa la misma corriente de aire Q, pero desarrolla las presiones Pa y Pb, respectivamente. Los puntos de operación individual se muestran como A y B.

Como se muestra en la siguiente figura, los ventiladores individuales no necesitan tener curvas características idénticas. [8]

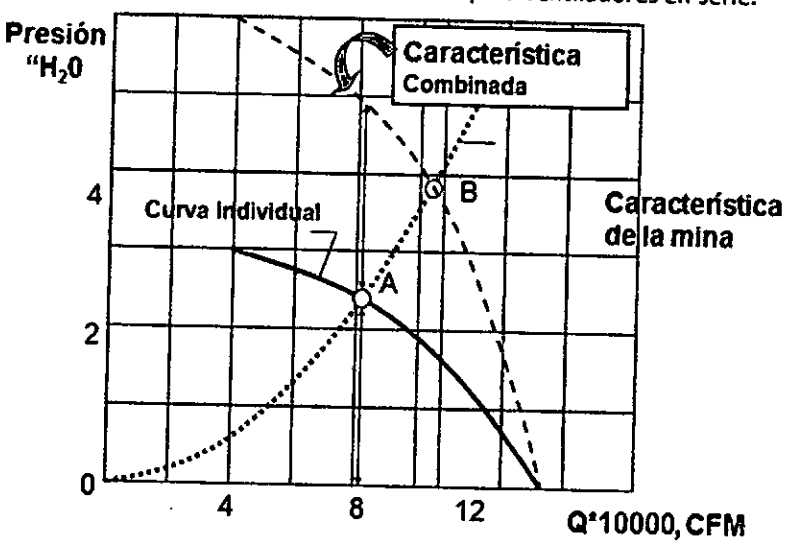
Figura N° 11: Tipos de instalación ventiladores de doble fase (serie)



Fuente: NOVITZKY Alejandro. (1962). "Ventilación de minas".

Este tipo de instalación permite aumentar la presión considerablemente. Son usados para trabajos largos.

Figura N° 12: Curvas características para ventiladores en serie.



Fuente: Ídem.

[8] NOVITZKY Alejandro. (1962). "*Ventilación de minas*", Buenos Aires-Argentina. Pp. 55-57.

A: Punto de operación individual,

B: Punto de operación combinado

Ventiladores en paralelo

Según NOVITZKY Alejandro [9]. Para ventiladores que se combinan en paralelo, las corrientes de aire se agregan para cualquier presión del ventilador dada para obtener la curva característica combinada.

Como se muestra en la figura, los ventiladores a y b poseen caudales Qa y Qb respectivamente, a la misma presión común, P. El punto de operación para la unidad completa ocurre en C con los puntos de operación individuales para los ventiladores A y B, respectivamente.

Aquí de nuevo, los ventiladores no necesitan necesariamente ser idénticos.

Sin embargo, debe tenerse cuidado particular para asegurar que los puntos de operación A y B no suben sus curvas respectivas demasiado alto.

Esto es particularmente importante en el caso de ventiladores axiales debido a su característica de estancamiento.

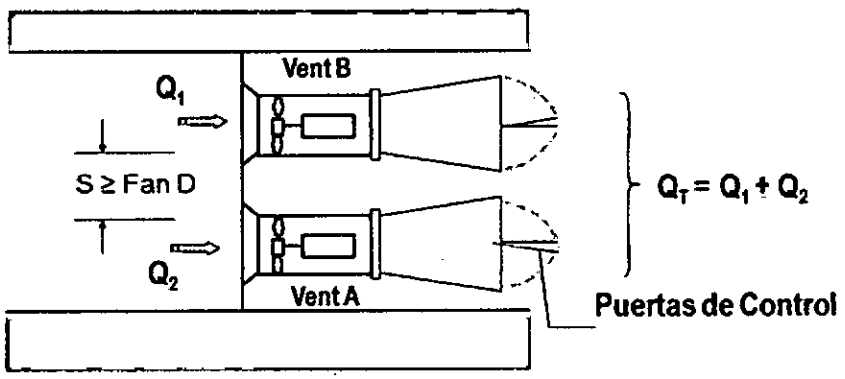
Aquí nuevamente, tres o más ventiladores pueden combinarse en paralelo, agregando las corrientes de aire para obtener la curva característica combinada.

Aunque en la figura se muestran dos características del ventilador, es prudente emplear ventiladores idénticos cuando se conecta en paralelo. Esto reducirá la tendencia para cada

[9] NOVITZKY Alejandro...Op.Cit.- Pp. 57-58

uno de ellos de acercarse a las condiciones de estancamiento antes que el otro.

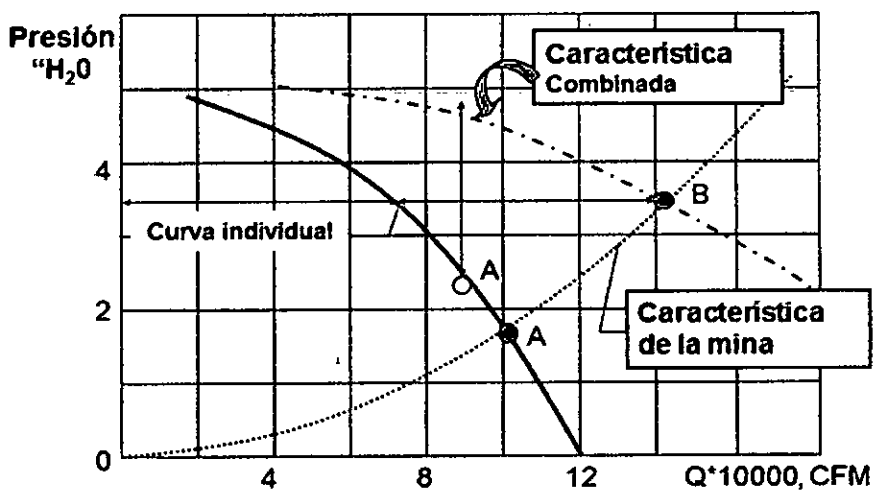
Figura N° 13: Tipos de instalación ventiladores en paralelo



Fuente: Ídem.

Este tipo de instalación permite aumentar el caudal sin afectar mucho la eficiencia.

Figura N° 14: Curvas características para dos ventiladores conectados en paralelo



Fuente: Ídem.

Una ventaja de emplear a los ventiladores en paralelo es que si uno de ellos falla entonces los ventiladores restantes continúan proporcionando una cantidad significativa del flujo original.

Pueden conectarse los ventiladores en cualquier combinación series/paralelo, adicionando presiones y corrientes de aire para obtener la curva característica combinada.

Caracterización de un ventilador.

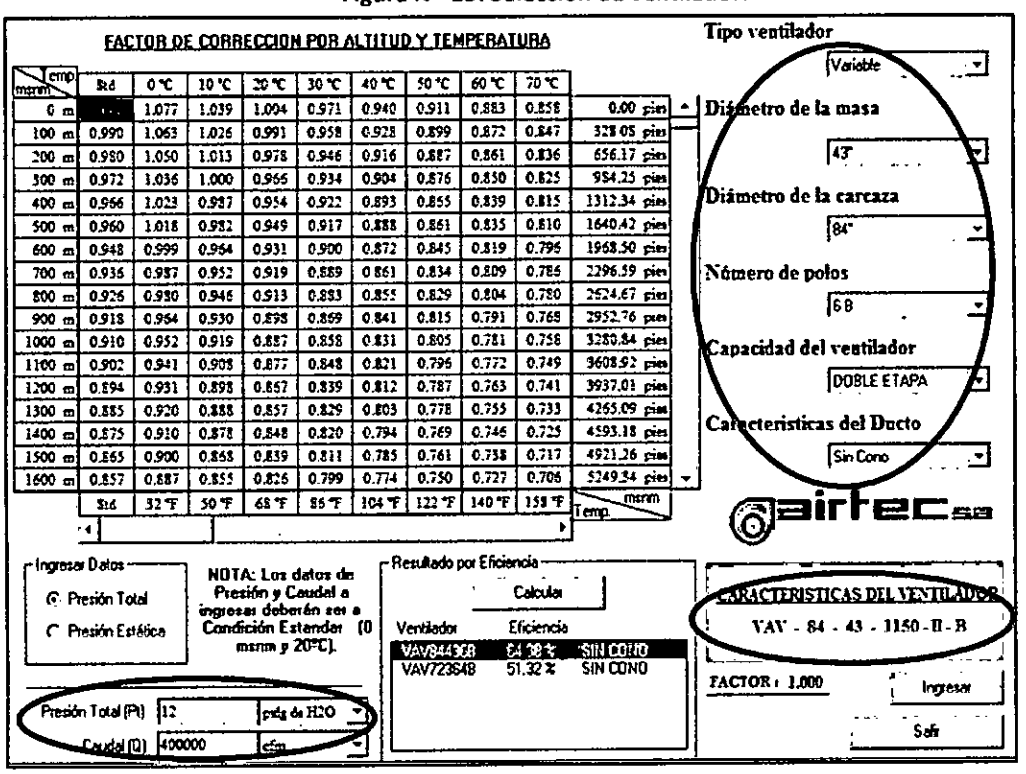
La selección del ventilador se realiza utilizando un programa que permite generar las curvas características de los ventiladores de alabe variable proporcionado por la empresa fabricante de ventiladores para nuestro estudio Airtec.

La caracterización de los ventiladores es importante para la simulación en el Ventsim.

Es un proceso donde se obtienen las curvas del ventilador, los cuales rigen el desempeño de un ventilador. Se toma en consideración 2 curvas: presión y potencia respecto al caudal.

Los pasos a seguir son, una vez calculado la presión con el software Ventsim en "H_2O (datos de placa en campo) y el caudal en cfm se ingresa en el software. [10]

Figura N° 15: Selección de ventilador.



Fuente: El investigador-Programa Airtec.

[10] AIRTEC S.A. (2013). "*Software ventiladores-Manual técnico de ventiladores para la Minería*" (última versión), Lima-Perú.

Curva característica de un ventilador.

Debido al complejo proceso que se requiere para construir las curvas de operación exactas de los ventiladores y puesto que no es del alcance de este proyecto, se construyen curvas teóricas para ventiladores axiales a partir de los datos recolectados en el inventario de ventiladores.

Estas curvas son muy generalizadas para este tipo de ventiladores y no muestran el funcionamiento real y punto de operación de cada ventilador.

Las curvas teóricas se usan para dar un rango de operación al ventilador dentro de la simulación y obtener resultados con valores aproximados pero más precisos que utilizando un caudal definido.

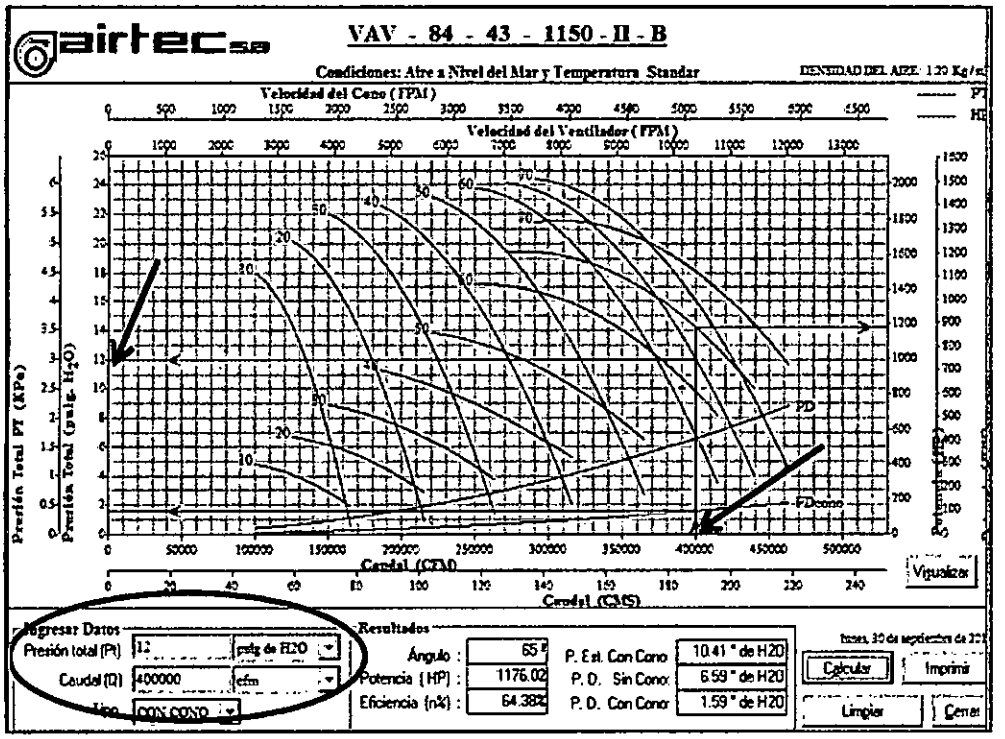
Las curvas teóricas de operación de los ventiladores son ingresadas a la base de datos del Ventsim y usadas para la simulación del sistema, seleccionando la curva más aproximada al caudal nominal del ventilador, el Ventsim hace ajuste de acuerdo a la compresibilidad.

Variables necesarios:

Para generar la curva se necesita: (Diámetro de la masa, diámetro de la carcasa, numero de polos, capacidad del ventilador, características del ducto, factor de corrección de altitud y temperatura).

Una vez ingresado los datos en el programa se genera la curva de color negro, todo esto como se indicó líneas arriba es a nivel del mar.

Figura N° 16: Curva característica del ventilador a nivel del mar.



Fuente: El investigador-Programa Airtec.

2.1.3.5. Levantamiento de Ventilación

Un objetivo primordial de un estudio de ventilación es la obtención de mediciones de caída de presión por fricción P y el correspondiente flujo de aire Q, para cada uno de los ramales de la red de ventilación. De esos datos los siguientes parámetros podrían ser calculados con el propósito de planeamiento y control:

- Distribución de flujos de aire, caídas de presión y fugas.
- Potencia de aire perdido (P x Q) y la distribución de costos de operación de ventilación a través de la red.
- Eficiencia volumétrica del sistema.
- Resistencia de los ramales (R = P/Q2).
- Efectos de la ventilación natural.
- Factores de fricción.

- Estándares de ventilación.

Mientras que las observaciones de flujo de aire y presión diferencial conciernen a la distribución y magnitud del flujo de volumen de aire, otras mediciones deben de ser realizadas separadamente o como parte integral de un estudio presión/volumen de acuerdo a la calidad de aire indicada. Esas mediciones podrían incluir temperaturas de bulbo seco y húmedo, presiones barométricas, niveles de polvo o concentraciones de gases contaminantes.

Al inicio del proyecto la mina Raura no contaba con los estándares y plan de aforos y mediciones, para mantener el control del estado de la ventilación en de la mina. Inicialmente se definieron las bocaminas y chimeneas activas de la mina con el fin de tener en cuenta estos flujos para el balance general de aire que ingresa a la mina.

a) Medidores de Presión de Flujo

La mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Para pequeñas diferencias de presión se emplea un manómetro que consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El tubo contiene un líquido, como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local.

Tubo de pitot.

Un tubo de Pitot puede ser utilizado para realizar las mediciones tanto de presión total, estática y de velocidad. Su diseño consiste esencialmente de dos tubos concéntricos. Para diferencias de presión mayores se utiliza el manómetro de Bourdon. Este manómetro está formado por un tubo hueco de sección ovalada curvado en forma de gancho. Los manómetros empleados para registrar fluctuaciones rápidas de presión suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea. [11]

b) Medidores de Velocidad de Flujo

Anemómetro de Aspas Rotantes

La gran mayoría de mediciones efectuadas manualmente en minas subterráneas son realizadas con un anemómetro de aspas rotantes (tipo molino de viento). En presencia de una corriente de aire, este pasa a través del instrumento ejerciendo una fuerza sobre los álabes, causando entonces la rotación del rodete con una velocidad angular que es proporcional a la velocidad del aire.

Anemómetros de álabes de tipo digital indican las velocidades directamente en un odómetro incorporado de pantalla iluminada. [12]

---

[11] JIMENEZ ASCANIO, Pablo. (2010). "**Ventilación de minas subterráneas y túneles**", versión 3.0, Lima-Perú. Pp-11-12.

[12] JIMENEZ ASCANIO, Pablo...**Op.Cit.-** Pp-13-15.

2.1.3.6. Aforos (ingresos y salidas de aire)

Al inicio del proyecto, la mina no contaba con un plan de aforos ni con instrumentos de medición necesarios para realizarlos. Con el fin de implementar una metodología de medición se estructuró un esquema de aforos en las principales entradas y salidas de aire de la mina, para calcular el balance global de aire. Adicionalmente la mina quedará con un formato básico de mediciones de caudal y velocidad del aire (ya se vio en el ítem anterior), que le permitirá llevar un seguimiento de los mismos en las estaciones o puntos de aforo recomendados.

A. Puntos de medición

Para el balance general de la mina se definieron puntos externos de bocaminas y chimeneas principales por donde entra y sale principalmente el flujo de aire de la mina. Estas estaciones están dentro de las 123 estaciones de levantamiento.

Un resumen de los puntos aforados se indicara en los resultados donde se indica de manera global de la mina y de los 5 circuitos. Existirá una diferencia entre el aire que entra y sale de la mina. Estas diferencias se dan principalmente por labores antiguas mal selladas, recirculaciones en ventiladores auxiliares y secundarios; así como, diferencias de densidad en el aire.

B. Balance de aire por circuitos

Con la ubicación de los diferentes puntos de aforo del balance global se procedió a clasificarlos según circuitos para verificar el aire que está circulando por cada uno de ellos. La deficiencia

global y por circuito de aire se reflejará en la deficiencia de aire por cada uno de los circuitos.

2.1.3.7. Diseño de sistemas de ventilación Minera

Prácticamente cada apertura subterránea es única en su geometría, extensión, geología, contaminantes del medio ambiente y razones para su formación. El correspondiente modelo de ventilación necesario es variable entre las diferentes minas existentes. Sin embargo, ciertas características son suficientemente comunes para permitir la clasificación de sistemas de ventilación y los subsistemas para su identificación.

Sistemas Principales

El diseño de ventilación subterránea sirven para uno o más sistemas de una mina, estos pueden ser clasificados de dos maneras: tubo en U y flujo continuo.

Sistemas Auxiliares

La ventilación auxiliar se refiere a los sistemas que son usados para suplir aire hacia las áreas de trabajo de galerías de avance ciegas.

a) Factor de fricción

En la época en que Atkinson planteó su ecuación, se estableció una serie de valores para k en función del tipo de revestimiento de la galería (rugosidad), ignorándose el efecto de la densidad del aire. Conforme se ha profundizado las minas, los cambios de densidad del aire han cobrado mayor importancia y se ha demostrado que, debido a la falta de un factor de densidad en la

ecuación de Atkinson, se estaba obteniendo resultados cada vez menos exactos. [13]

Esto hizo que se modificara la expresión de Atkinson teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Chezy y Darcy, lo cual llevó a plantear la ecuación en la forma siguiente:

$$P = \frac{f_p}{2}\frac{S}{A}v^2$$

Donde:

p = caída de presión

k = coeficiente de Atkinson

S = superficie de contacto

A = sección transversal del ducto

v = velocidad media del aire

Como: Q= v.A

$$p = \frac{fp}{2}\cdot\frac{S}{A^3}\cdot Q^2$$

b) Resistencia de los Conductos de Aire:

Podremos definir entonces un nuevo factor R, que llamaremos Resistencia del conducto y cuyo valor estará dado por en el sistema métrico:

$$R = \frac{KxCxL}{A^3}\cdot\frac{w}{1.2}$$

Donde:

R = resistencia (NS^2/m^8)

L = longitud (m)

[13] JIMENEZ ASCANIO, Pablo...Op.Cit.- P.88.

C = Perímetro (m)

A = área (m^2)

w = densidad del aire (kg/m^3)

Esto permite escribir la ecuación anterior de P en la forma siguiente:

$$P = R\,Q^2\ (N/m^2)$$

De donde se deduce que la resistencia R depende de:

- La rugosidad del conducto (K) 1
- Sus características geométricas (S/A3)

Esto no sucedía con la expresión deducida inicialmente por Atkinson, en la que bastaba que dos galerías tuvieran las mismas características geométricas para que su resistencia fuera la misma.

En el siguiente cuadro se indica los factores de fricción.

Cuadro N° 05: Valores del factor de fricción K

DESCRIPCION	K (kg/m3)
POZOS VERTICALES DE SECCION CIRCULAR	
Revestimiento de concreto; sin obstrucciones	0.0030
Revestimiento de ladrillo; sin obstrucciones	0.0037
Revestimiento de concreto; equipado	0.0065
Revestimiento de ladrillo; equipado	0.0074
Blindado; sin obstrucciones	0.0139
Enmaderado; sin divisiones	0.0167
Revestimiento de ladrillo; con dos divisores sin arriostre	0.0176
Revestimiento de ladrillo; con dos divisores con arriostre	0.0223
Enmaderado con divisiones arriostrados	0.0223
GALERIAS CON ARCOS METALICOS	
Revestimiento con concreto	0.0037
Con losas de concreto o entablado total entre arcos	0.0074
Con losas de concreto o entablado parcial entre arcos	0.0093
Entablado parcial detrás de los arcos	0.0121
Superficie irregular entre arcos	0.0158
GALERIAS RECTANGULARES	
Revestimiento de concreto	0.0037
Paredes de concreto o ladrillo con viguetas	0.0093

Paredes sin revestir (lisas)	0.0121
Paredes sin revestir (irregulares)	0.0158
Marcos de madera	0.0186

Fuente: ANGEL TAPIA, Fernando. (2012). "Ventilación de minas subterráneas".

c) Pérdidas Locales:

Las pérdidas de presión a las que se ha hecho referencia hasta ahora, se refieren a excavaciones, rectas libres de toda obstrucción. A las pérdidas de presión que ocurren debido a la presencia de obstrucciones o a cambios de direccón en el alineamiento de las excavaciones, se les da el nombre genérico de pérdidas locales (debido a su caracter localizado en el circuito) y su magnitud se expresa usualmente en términos de '*longitud equivalente*', lo que permite reemplazar la obstrucción o el cambio de dirección por un tramo adicional de galería recta, a lo largo de la cual ocurre una pérdida de presión igual a la causada por la obstruccón o el cambio de dirección. [14]

Teniendo en cuenta el grado de precisión que se espera normalmente de los cálculos de ventilación y que las pérdidas locales son en realidad caídas bruscas en la energía cinética del aire, se recomienda incluirlas sólo cuando la velocidad del aire sea superior a los 200 m/min. ***(VER EL ANEXO N° 05)***

d) La Red de Ventilación

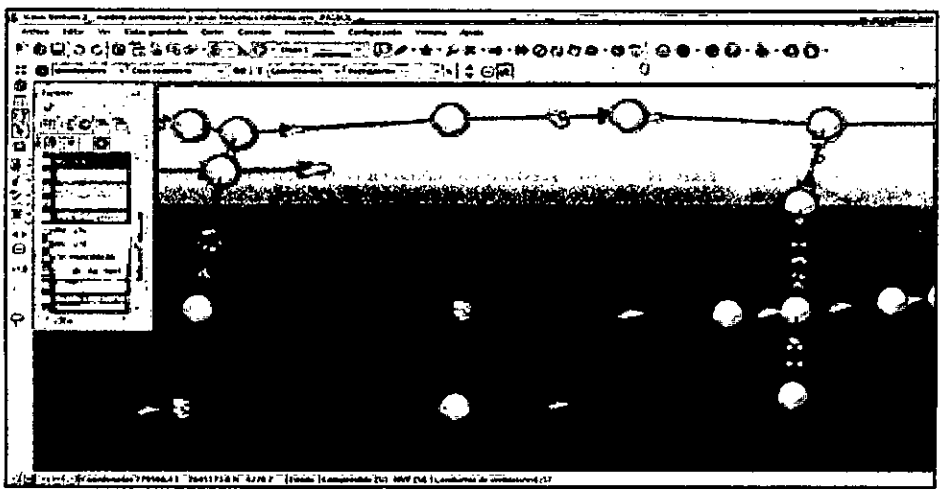
Los conductos a través de los cuales circula el aire en la mina estarán interconectados entre si y formarán el denominado circuito de ventilación.

[14] JIMENEZ ASCANIO, Pablo...**Op.Cit.-** pp-95-96.

El circuito de ventilación tendrá la forma de una red y estará constituido por ramales y nudos.

Se denomina ramal a todo tramo que va de un nudo a otro, mientras que la denominación de nudo corresponde a todo punto de la red en la que se unen dos o más ramales.

Figura N° 17: Nodo y ramal (Ventsim).



Fuente: El investigador-Programa Ventsim.

2.1.3.8. Análisis de redes de ventilación

Un componente vital en el diseño de una mina subterránea es la planificación cuantificada de la distribución de corrientes de aire; a lo largo de una operación subterránea es necesario replantear sistemas de acuerdo a nuevos ventiladores u otros equipos que sean necesarios.

Como ejemplos tenemos la primera y segunda ley de kirchoff donde el primero trabaja con caudal referido a un nudo y la segunda con caida de presiones referido a una malla en ambos casos igual a cero.

Existen muchas maneras de determinar la solución de sistemas de ventilación. El método analítico involucra formulación que

contiene las leyes que pueden ser solucionadas analíticamente, sin embargo este método es limitado para sistemas complejos.

Por este motivo se preferirá emplear métodos numéricos, solucionables mediante computadores electrónicos.

En ambos casos, el primer proceso de solución puede ser basado en la distribución de presiones a través de la red o la distribución de flujos.

Uno de los métodos más conocidos es el de Hardy-Cross que emplea la secuencia de iteraciones sucesivas, este es el más empleado en los softwares desarrollados para el cálculo de ventilación en minas, existiendo algunas variaciones en la manera de realizar el método numérico, no es ajeno indicar que el Ventsim utiliza este metodo de ajuste; por ende, la calibracion resulta exacta con los ajustes realizados por la misma.

2.1.3.9. Dirección de flujos de aire - isométricos

Se muestran las direcciones de los flujos de cinco (05) circuitos principales, con los niveles más relevantes de la mina, referencias para la calibración y comparación del modelo de campo, la dirección de los flujos fueron comprobados en campo (marzo 2013).

La calibración del modelo, se encuentra al 80%, las interacciones de la simulación están en un rango del 10 al 20% con los datos de campo estos planos son los que se presenta a la **Osinergmin**.

Las ilustraciones de cada simulación. ***(VER ANEXO 13 al 17).***

2.1.3.10. Caudal de aire necesario en una operación minera

Las necesidades de aire en el interior de la mina, se determinara en base al número de personas, equipo diesel y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales.

A. Requerimiento de Aire para el personal

Según el D.S. 055-2010-EM, Capítulo IV, artículo 236 el cálculo de volumen de aire requerido para personas es de 6 m^3/min por cada trabajador si la mina está por encima de 4,000 m.s.n.m., como es el caso de Raura que se encuentra a una altitud de 4630 m.s.n.m. [15]

$$Q_1 = nxq$$

Q_1 = m^3/min

n = Número máximo de personas en las labores.

q =Cantidad de aire requerido por persona m^3/min ***(Ver cuadro N° 04)***

La distribución de personal en la mina Raura es de la siguiente manera, cabe indicar se tomó la guardia que posee mayor cantidad de personal que para este caso es perteneciente al guardia del turno día.

B. Requerimiento de Aire para el equipo diesel

Calculo de caudal de aire según el equipo diesel. [16]

$$Q_2 = axn$$

[15] Decreto supremo 055-2010-EM, Art. 236°, **ventilación.**
[16] Decreto supremo 055-2010-EM, Art. 236°, **ventilación.**

Q_2 = m^3/min

a = $3m^3$/min por cada HP *(Ver cuadro N° 04)*

n = Número total de HP desarrollado

Para los equipos se realizó corrección por altura a la potencia nominal de la siguiente manera:

En este trabajo se utilizarán factores de potencia para calcular la pérdida de potencia, que son ecuaciones desarrolladas por distintos institutos, sociedades académicas reconocidas o fabricantes de autos para poder cuantificar la variación de la potencia nominal cuando un motor funciona en distintas condiciones atmosféricas. La forma generalizada que se le ha dado al factor de corrección para calcular la potencia se muestra en la ecuación. [17]

$$P = \frac{HP}{HP_0} = \left(\frac{P}{P_0}\right)^a x \left(\frac{T}{T_0}\right)^b$$

Donde:

HP = Potencia del lugar de operación

HP_0 = Potencia nominal estándar 0 m.s.n.m.

P = Presión del lugar de operación

P_0 = Presión estándar 0 m.s.n.m.

T = Temperatura del lugar de operación,

T_0 = Temperatura estándar 0 m.s.n.m. (15, 20, 25 °C)

a = 1, b = -0.5

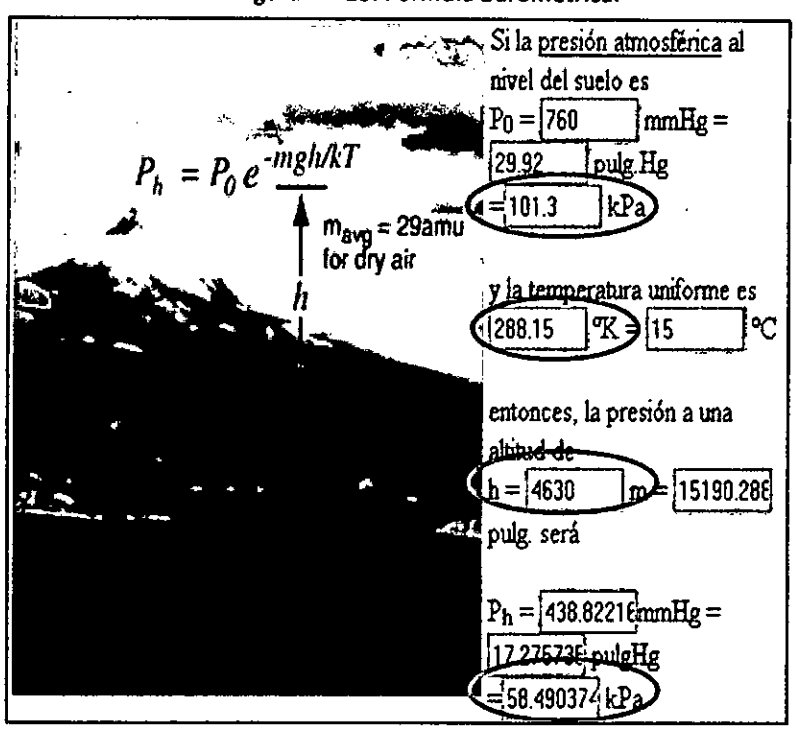
La presión barométrica (P) del lugar de operación de la mina Raura se calcula tomando como base a nivel del mar P_o = 760

[17] LAPUERTA, Magín y ARMAS, Octavio..."*Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna.*" *Parte 1*, 2006.

mmHg (101 Kpa), entonces sale 439 mmHg (59Kpa), todo esto se calcula con el programa de formula barométrica.

También se calcula la potencia desarrollada en base al factor de utilización, sabemos que no todos los equipos trabajan las 8 horas efectivas.

Figura N° 18: Fórmula barométrica.



Fuente: Internet-http://hyperphysics.phy.

En resumen tenemos los demás datos.

P = 439 mmHg <> 59 Kpa

P_0 = 760 mmHg <> 101

T = 10 °C <> 283 °K

T_0 = 15 °C <> 288 °K

H = 4630 m.s.n.m. (BM-Catuva)

Remplazando en la formula anterior tenemos.

$$FC = AP = \frac{HP}{HP_0} = \left(\frac{59}{101}\right)^1 x \left(\frac{283}{288}\right)^{-0.5}$$

$$\boxed{FC = 0.61}$$

C. Requerimiento por consumo de explosivos

La fórmula que se conoce para este cálculo puede ser criticado, ya que no toma en cuenta varios factores que se expondrán después de presentarla, al tratarse de minas metálicas, este método es el que más se usa. Toma en cuenta la formación de productos tóxicos por la detonación de explosivos, el tiempo que se estima para despejar las galerías de gases y la cantidad máxima permitida, según normas de seguridad de gases en la atmósfera, tenemos: [18]

$$Q_3 = \frac{100*A*a}{d*t}$$

Donde:

Q_3= Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m3/min.)

A= Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60% (Kg)

a= 0.04 (m^3/kg. de explosivo). Volumen de gases generados por cada kg. de explosivo. Valor sugerido.

d= % de dilución de los gases en la atmósfera, deben ser diluidos a no menos de 0.008 % y se aproxima a 0.01 %.

t= tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos cuando se trata de detonaciones corrientes.

Para nuestra investigación reemplazando en la formula tendremos: Considerando el tiempo de 30 minutos.

---

[18] SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA. (2008). ***"Guía metodológica de seguridad para proyecto de ventilación de minas"***, Chile. Pp.24-25.

$$Q_3 = \frac{100*A*0.04}{0.008*30} \quad m^3/min$$

$$Q_3 = 16.66xA \quad m^3/min$$

Consumo diario de explosivos por turno: **1550 Kg.**

Para esta cantidad de explosivos y para un tiempo de evacuación de 30 minutos el requerimiento de aire general por explosivos.

La otra ecuación que nos permite determinar el caudal requerido también es:

$$\boxed{Q_3 = V * A * N}$$

Donde:

Q= Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m^3/min.)

V =Velocidad del aire: 20 m/min (dinamita) y 25 m/min (Anfo).

A = Sección promedio de la labor; m2.

N = Número de niveles de operación.

Para nuestra investigación la mina Raura tiene las siguientes características:

V = velocidad de aire 25 m/min

A = sección promedio 14.88 m^2

N = número de niveles 10

Los niveles son los siguientes: NV-200, NV-250, NV-300, NV-380, NV-440, NV-490, NV-520, NV-580, NV-590 y NV-630

2.1.3.11. Evaluación económica

Los costos de la ventilación incluyen:

- Energía.

- Servicio: Mano de obra, puertas de ventilación, mangas, tapones, reguladores, mantenimiento, etc.
- Chimeneas convencionales, circulares, Alimak, etc.

2.1.3.12. Programa de simulación de ventilación *(Ventsim)*

Primer software de simulación de ventilación para minas subterráneas usado en más de 600 minas, universidades, consultores y organizaciones de investigación en todo el mundo; capaz de integrar modelo analítico con modelos 3D en un entorno gráfico con color y animación dinámica. [19]

A. Las características del Ventsim

- Gráficas 3D, sólidos y líneas.
- Color de acuerdo parámetros: flujo, presión, altitud, etc.
- Fácil manejo (rotación, escala), independiente de complejidad de la red.
- Dinámica de flujos en colores, para áreas contaminadas.
- Manejo avanzado de ventiladores (1,000 unidades).
- Evaluación financiera.
- Soporta hasta 30,000 líneas de flujo de aire.
- Visualización de resultados numéricos y rangos de colores
- Modelación termodinámica, calor, refrigeración y HR.
- Análisis automático de bloqueos y recirculación de aire.
- Simulación de voladura y gases tiempo de evacuación del aire viciado.

---

[19] STEWART, Craig. (2012). "*Curso de ventilación de Minas-VentSim Premium; creador del software*", Lima-Perú.

El Ventsim realiza importación de modelos y datos de archivos como TXT, AutoCAD y Minesight (dxf), y VDP (VnetPC).

Figura N° 19: Vista del Ventsim.

Fuente: STEWART, Craig. (2009). "Ventsim Visual Avanzado".

El Ventsim tiene herramientas completas y son. Dibujar, editar, mover, duplicar, para poner bloques (hermetizado), colocar ventiladores, ventilación auxiliar, regulaciones, resistencia, simulaciones de contaminantes, fumarolas, gases, termodinámica, recirculaciones, financiera; entre los más resaltantes. El Ventsim consta de 3 etapas y estas se realizan en nuestro proyecto: ***(VER ANEXO N° 04)*** [20]

a. Condiciones de Operación

- Mineral de Explotación: Polimetálica Cobre-Ag-Zn y Cu.
- Tipo de Explotación: Corte y relleno ascendente (Cut and Fill), acumulación dinámica (Shrinkage), taladros largos (Sublevel Stoping).

[20] STEWART, Craig. (2012). "***Curso de ventilación de Minas-VentSim Premium; creador del software***", Lima-Perú.

- ❖ Producción: 2,000 TPD.
- ❖ Turnos de Trabajo: 02; de 7 am a 7 pm y de 7 pm a 7 am.
- ❖ Tiempo de Ventilación: 90 min.
- ❖ Tipo de explosivos: Dinamita y ANFO.

b. Condiciones de Referencia para la Simulación

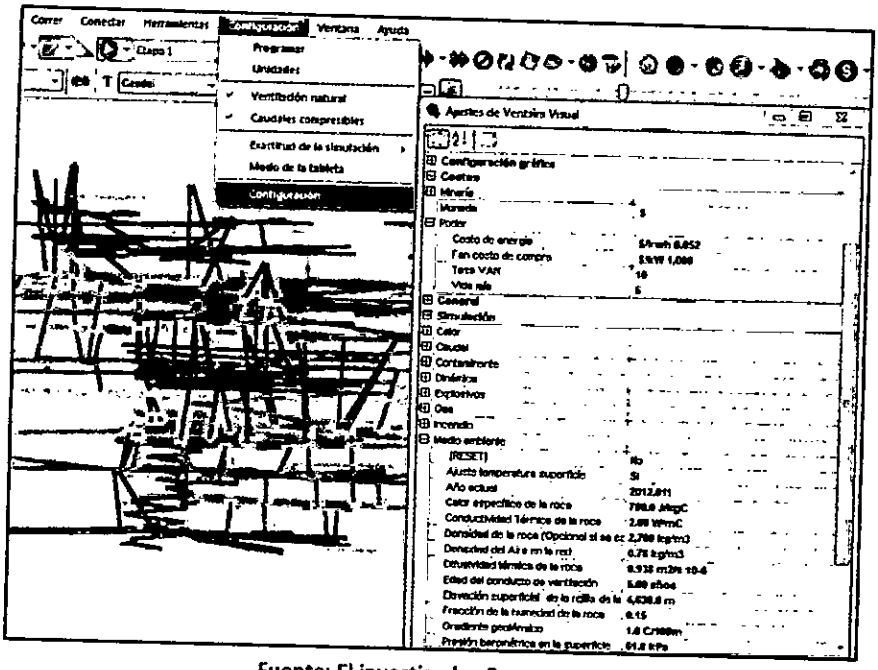
- ❖ Altura sobre el nivel del mar: 4,630 msnm (BM Catuva).
- ❖ Presión barométrica: 59 Kpa
- ❖ Temperatura de bulbo Seco: 7.0 °C.
- ❖ Temperatura bulbo húmedo: 4.8 °C.
- ❖ Densidad del aire: 0.76 Kg/m3
- ❖ Densidad de la roca: 2,700 Kg/m3
- ❖ Costo energía eléctrica: 0.052 US$/ Kw-hr
- ❖ Tasa de Retorno de Inversión: 10 %
- ❖ Periodo de Análisis: 5 años.

B. Modelación del programa

Es un método formal de ordenar los datos extraídos dentro del campo de operación para mostrar el comportamiento de las labores donde nos tocará trabajar, así mismo incorpora la representación cuantitativa en forma digital de la superficie del terreno, en el cual las propiedades de los componentes varían, aplicado normalmente a modelo, de procesos como el brindado por el programa computacional ejemplo. Data Mine, Minesight, Vulcan, Surpac, Gemcom entre otros. Una vez importado se realiza la configuración del sistema como líneas arriba se mencionó, el modelo en esta etapa es distinto a la mina todavía no está acondicionada de acuerdo a la mina, por ejemplo una

Galería tiene una sección tipo baúl pero cuando se importa el Ventsim lo reconoce como cuadrado, recién en la siguiente etapa se realiza. [21]

Figura N° 20: Ventana de configuración del Ventsim.



Fuente: El investigador-Programa Ventsim.

Al inicio del proyecto Raura no cuenta con un diagrama de flujo actualizado y detallado de la mina.

El área de ventilación cuenta con un plano esquemático 3D de la mina que sirve para visualizar; ubicación de ventiladores principales, caudal nominal y algunas direcciones de flujo. En este informe se presentan los esquemas básicos que indican la dirección del flujo en las vías principales de la mina. Adicionalmente en los modelos de simulación se podrá observar el funcionamiento de ventiladores y recorrido del flujo de forma dinámica.

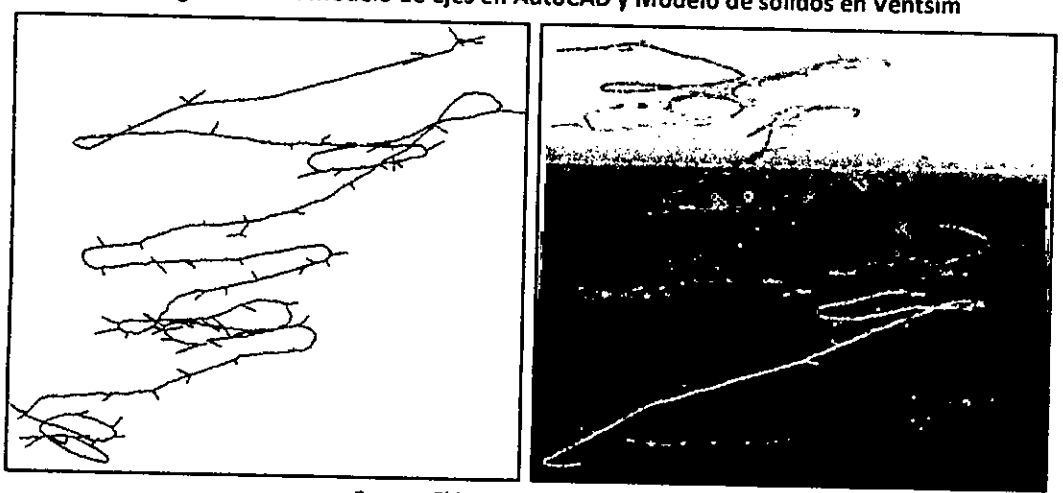
[21] STEWART, Craig. (2012). "*Curso de ventilación de Minas-VentSim Premium; creador del software*", Lima-Perú.

Actualmente el departamento de Topografía de Raura tiene modelada la mina en 3D en el programa Minesight. Programa de minería para el Geomodelamiento, diseño, planeamiento y programación, donde se puede visualizar la mina en superficies 3D. Para el modelamiento de la mina en 3D y simulación del sistema de ventilación se usa el software especializado Ventsim Visual Avanzado, para el cual se extrajeron los ejes al techo de los diferentes túneles y labores en general del modelo Minesight.

Estudio geométrico de la mina

Después de realizar un recorrido de reconocimiento a la mina y recopilar parte de la información topográfica necesaria se procede a implementar el modelo 3D. A continuación se muestran las imágenes que describen los pasos de la construcción del modelo, todo esto se puede modelar inicialmente con solo tener datos de aforos principales entradas y salidas.

Figura N° 21: Modelo de ejes en AutoCAD y Modelo de sólidos en Ventsim



Fuente: El investigador-Autocad y Ventsim.

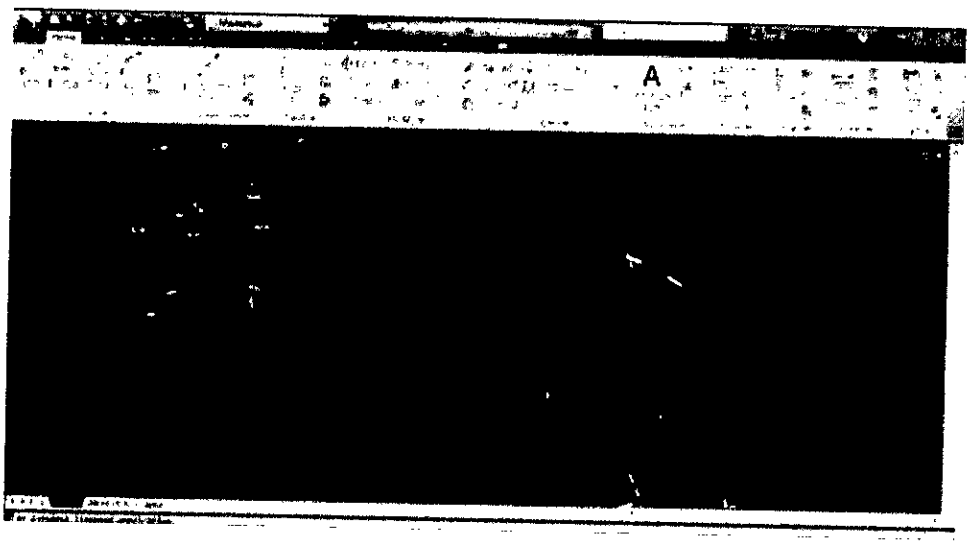
Planos de referencia

Adicional a la extracción de los ejes del Minesight se utilizan planos de AutoCAD como referencia para mantener las labores actualizadas y los nombres de los tajos y labores activas.

Adicionalmente es una fuente de información importante para la ubicación de Alimak y chimeneas.

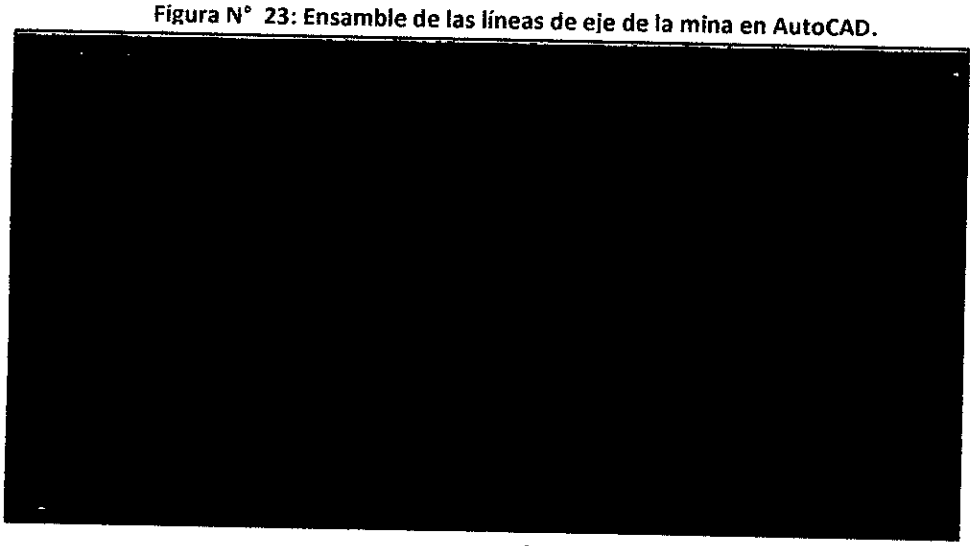
Ensamble de los diferentes niveles y se importa al Ventsim.

Figura N° 22: Plano de referencia de un nivel en AutoCAD.



Fuente: El investigador.

Figura N° 23: Ensamble de las líneas de eje de la mina en AutoCAD.



Fuente: Ídem.

Modelos 3D Ventsim

A partir de los datos suministrados por topografía se implementó el modelo en Ventsim utilizando como base las líneas de eje de los túneles. Se construyó el modelo volumétrico de la mina Raura, se asignaron sus propiedades, como; tipo de roca, áreas, formas y recubrimiento de túneles, avances, bloqueos, etc.

Figura N° 24: Modelo de la mina con la superficie de la montaña (Ventsim).

Fuente: El investigador.

Figura N° 25: Estructuras económicas de la mina en el modelo Ventsim.

C. Calibración del programa

- Medición de caudales en toda la mina, en distintos horarios día y noche.
- Calibrar los valores de K de acuerdo a la rugosidad que se presente.
- Medición de caída de presión en los ramales principales.
- Ajustar las áreas de los ramales principales.

- ❖ Ajustar la curva de los ventiladores con más data.
- ❖ Simulación de puertas, reguladores, tapones y otras resistencias que se hallen instaladas en la mina.
- ❖ Se trabajara con la densidad del aire a nivel del mar, los caudales que se calculen serán los mismos a cualquier altura, solo produciendo cambios en las presiones.

D. Simulación del programa

La simulación del programa nos ayuda a prever los trabajos que se quieren concebir para el futuro de la mina ya sea a mediano y largo plazo.

- ❖ También nos ayuda a sustentar la construcción de nuevas chimeneas, la manera de cómo se comportaría el nuevo sistema y las decisiones que se tomarían para tener un avance sostenible de las labores.
- ❖ En los trabajos diarios también es muy útil, la apertura de tajeos, la instalación de un ventilador en una labor nueva o reguladores de cualquier tipo implican un cambio en el comportamiento del sistema.

E. Simulación del sistema actual.

Una vez realizado el proceso de calibración se analiza la simulación del sistema actual y se obtiene lo siguiente resultados caudal de ingreso, caudal de salida, flujo de masa, resistencia total, potencia eléctrica consumida y costo de energía.

F. Cálculo de la caída de presión del sistema

Para calcular la resistencia del sistema utilizamos la siguiente relación:

$$P = R \times Q^2$$

Donde:

P: Presión del sistema (Pa)

R: Resistencia de la mina ($Ns^2/m8$)

Q: Caudal total de ingreso de aire (m^3/s)

Cuadro N° 6: Presión del sistema.

CALCULO DE PRESIÓN DEL SISTEMA		
Caudal de ingreso de aire	312	m^3/s
Resistencia Total de la mina	0.01651	Ns^2/m^8
Presión de la mina	6.5	Pulg. CA.

Fuente: El investigador.

2.1.3.13. Diseño y mejoramiento del sistema de ventilación.

A. Construcción del Raise Borer-Análisis de costo energía (circuito puro) con diferentes diámetro del Raise Borer

Para obtener costo anual de energía para distintos diámetros se va a calcular lo que respecta a presión dinámica, presión estática, presión total y potencia con las siguientes relaciones:

1. Cálculo de presión estática.

$$Pt = Pd + Ps$$

Donde:

Pt = Presión total (Pa)

Pd = presión dinámica (Pa)

Ps = presión estática (Pa)

Para nuestro caso la presión total se obtiene del Software.

$$Pd = \frac{\rho x v^2}{2}$$

Donde:

ρ = densidad del aire Kg/m3 (Raura: 0.76 Kg/m3)

v = Velocidad del aire m/s

Por diferencia se obtiene la presión estática.

$$Ps = Pt - Pd$$

2. Calculo de caudal.

$$Q = VxA$$

Q= caudal (m3/s)

V = velocidad (m/s)

A = área (m2)

3. Calculo de potencia

$$\text{Pot} = \frac{\text{PtxQ}}{1000}$$

Donde:

Pot = Potencia (Kwatt)

Pt = Presión total (Pa)

Q= caudal (m3/s)

4. Calculo de resistencia

$$R = \frac{Ps}{Q^2}$$

Donde:

R = Resistencia (Ns2/m8)

Ps = Presión estática (Pa)

Q= caudal (m3/s)

5. Calculo de costo anual de anergia.

$$Costo\ anual\ de\ anergia = pot.xCex24x365$$

Donde:

Costo anual de energía = US$

Pot = Potencia (Kwatt)

Ce = Costo de Energía US$Kw/Hr (Raura: 0.052)

6. Análisis financiero del RB propuesto

La propuesta del diámetro para el RB, se hace en base al análisis financiero del Ventsim, al cual se le suministran los costos de minado y el costo de energía eléctrica de donde se obtiene el costo total del sistema, que sirven para simular los escenarios en la selección del diámetro óptimo del RB. El Ventsim realiza iteraciones con los diferentes diámetros y nos muestra una luz para lo que sería el diámetro más óptimo, en la ubicación específica y en las condiciones críticas para una cobertura actual. La gráfica nos muestra el punto de inflexión en el momento en que se minimizan los costos energéticos y de explotación. Según el cálculo teórico para calcular el diámetro óptimo con la siguiente fórmula (22) tenemos:

$$Diamt.Opt. = \sqrt[7]{(17.236 * K * Q^3 * Ce * d)/(n * Cd * Cf)}$$

Donde:

K (constante de Atkinson): 5.56 x 10^{-3} kg/m^3

Q (Caudal): 188.7 m^3/s (400,000 cfm) y 283.1 m^3/s (600,000 cfm)

Ce (Costo de energía): 0.45 US$/watt-año <> 0.052 US$/Kw-hr

[22] ANGEL TAPIA. Fernando, (2012). **"Ventilación de minas subterráneas"**, Lima-Perú, p.209.

d (densidad): 0.76 Kg/m^3

n (Eficiencia mecánica del ventilador): 65 %

Cd (Costo de Excavación): 350 US$/$m^3$

Cf (Costo de Capital o Financiero): 0.236

Costo financiero se calcula con la siguiente relación.

$$Cf = \frac{ix(i+1)^n}{(1+i)^n - 1} + Cm(\%)$$

Donde:

i= interés anual (%) (Raura: 10%)

n = número de años de servicio de la deuda (años) (5 años)

Cm = costo de mantención seguros impuestos (%) (Raura: 3%)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. EL PROBLEMA.

3.1.1. Descripción de la realidad problemática.

La Mina Raura tiene un aforo de 654,747 cfm de ingreso de aire, mientras el requerimiento (personal y equipo diesel) es de 1'208,747 cfm.

Como se puede apreciar solo está cubriendo el 54% del requerimiento de operaciones actuales, de acuerdo al D.S 055 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional vigente en la actualidad, conforme las labores de profundización empiecen a madurar los requerimientos se ampliarán, por esta razón, será necesario incrementar el caudal de extracción mediante ventilación forzada para la mayor contribución de la ventilación natural.

La empresa desea poner a punto su sistema de ventilación ya que en la actualidad no tienen un buen circuito de ventilación. Presentan problemas de recirculación, utilizan aire usado para la ventilación auxiliar dando inicio a la paralización parcial de las labores por acolchonamiento de humo y niebla que dificultan las operaciones de producción; por ello es de urgencia hacer el estudio de diseño y mejoramiento integral de sistema de ventilación compañía Minera Raura que será de mucha ayuda para mejorar el servicio: condición de vida de los trabajadores, evitar intoxicación o cualquier desastre fatal por consecuencia de gases y mejorar la producción. Esto es muy notorio en el circuito II (Catuva) donde existe mayor concentración de equipos y personal. En Catuva se realiza la profundización proyectada hasta la actualidad al nivel 0.

La mina Raura cuenta con 8 ejes principales de extracción, a la fecha tres ejes de extracción en Catuva (de las cuales uno nuevo no se considera), un eje de extracción en Margot, un eje de extracción en Yanco, un eje de extracción en Gayco, un eje en Esperanza y un eje en Flor de loto.

Utilizando ventiladores 132,000 cfm (1) y 50,000 cfm (8) como extractores principales y extrayendo muy poco caudal, el estudio nos ayudará a determinar la potencia, el caudal y a desarrollar los circuitos. Con los datos anteriores obtendremos las curvas de los ventiladores, ya que en la actualidad no cuentan con la información necesaria para la simulación con el software y así poder dar dirección al flujo.

Con ello podemos plantear alternativas con el análisis participe de los costos, realizar las mediciones de campo y plasmar los planos en AutoCAD y Minesight; que actualmente no cuentan con planos de

ventilación y diagramas isométricos de ventilación, y así trabajar en las actualizaciones de la mina e importar al programa de ventilación - Ventsim Visual Avanzado para hacer las simulaciones de optimización (minimizar).

3.1.2. Planteamiento y formulación del problema.

Problema principal: ¿La aplicación del programa Ventsim mejorara el sistema de ventilación en la compañía Minera Raura – Año 2013?

El problema específico está dado y como pregunta nos hacemos:

1.- ¿Existe consideraciones desfavorables de ventilación en la compañía Minera Raura-Año 2013?

2.- ¿Qué parámetros considera el programa Ventsim en el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura-Año 2013?

3.- ¿Cuáles son los procedimientos de aplicación de programa Ventsim para mejorar el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura-Año 2013?

3.1.3. Objetivos

3.1.3.1. Objetivo general

Diseñar y mejorar el sistema de ventilación aplicando el programa Ventsim en la compañía minera Raura – Año 2013.

3.1.3.2. Objetivos específicos

1.- Analizar las consideraciones actuales del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.

2.- Determinar si los parámetros que considera el programa Ventsim son efectivos para el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.

3.- Determinar los procedimientos de aplicación de programa Ventsim para mejorar el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.

3.1.4. Justificación e importancia de la investigación.

a) El presente trabajo de investigación se justifica, porque servirá para el mejoramiento del sistema de ventilación actual y proyectada, elaboración de los circuitos y como guía al personal responsable directo del área de ventilación en la mina Raura; asimismo, notando en los trabajadores el mejor desempeño en sus tareas y labores encomendadas, consecuentemente minimiza las enfermedades ocupacionales, así mismo como brinda mayores resultados en efectividad y productividad de la empresa.

b) Servirá a la empresa para la toma de decisiones respecto al control y diseño de los circuitos y alternativas de solución.

c) Se justifica también, porque será de utilidad a los estudiantes de la FIMGM – UNASAM, para enriquecer sus conocimientos de investigación respecto a la ventilación de minas.

d) Al suscrito, porque con ello obtendré el título profesional de ingeniero de minas.

3.1.5. Limitaciones.

a) La presente investigación se realizará aproximadamente en cuatro meses, debido a las limitaciones de disponibilidad de tiempo, factor principal del suscrito.

b) Las investigaciones de campo estarán limitadas a un presupuesto ajustado, y la disponibilidad de instrumentos de mediciones de campo.

c) La investigación se limita al análisis de los circuitos de ventilación, dilución de gases de voladura de los frentes de desarrollo y preparación de la mina Raura.

d) La investigación solo se limita a indagar, analizar y proponer a la empresa las recomendaciones de solución a los problemas planteados.

3.1.6. Alcances de la investigación.

Prevenir los accidentes, incidentes y de mejorar las condiciones de trabajo del personal que labora, es necesidad primordial, de toda empresa dedicada a esta industria, por ello, la compañía Minera Raura, no escapa de esta necesidad para estar dentro de los márgenes de competitividad con otras unidades mineras nacionales e internacionales.

3.2. HIPÓTESIS.

Estas hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del problema investigado; serán formuladas a manera de proposiciones, que se presentarán como respuestas provisionales de investigación.

3.2.1. Hipótesis General.

La aplicación del programa Ventsim permitirá el diseño y mejorara el sistema integral de ventilación de la compañía Minera Raura.

3.2.2. Sub Hipótesis.

1.- La efectividad de los parámetros que considera el programa Ventsim para el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura, es favorable.

2.- Con la aplicación de los procedimientos del programa, el Ventsim mejorara el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.

3.- No existe recirculación de aire viciado o enrarecido después del diseño del sistema de ventilación con el Ventsim, en los ambientes de trabajo.

3.3. VARIABLES.

Diseñar y mejorar el sistema de ventilación de la compañía minera Raura con el programa Ventsim visual Advanced versión 3.5., trazándose metas y objetivos. Lo que permitirá mejores condiciones de trabajo y rendimiento del personal para cumplir el programa de producción o superarlo, con seguridad y preservando la salud de los mismos.

Variable independiente

- Aplicación del programa Ventsim Visual Advanced 3.5.

Variable dependiente

- Diseño y mejoramiento del sistema de ventilación de la Mina Raura.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.4.1. Tipo de investigación.

- ***Es de tipo experimental***: En la presente investigación se hace variar las variables independientes en forma deliberada respecto a las otras variables. Aquí hemos tomado los datos tal como se presenta en la realidad.
- ***Es transaccional o transversal***: Porque los datos recolectados en el campo prácticamente han correspondido a un momento, siendo el propósito describir las variables y analizar sus relaciones en un momento dado, definiendo sus correspondientes alcances.

El nivel de la presente investigación, trasciende los siguientes niveles:

- ***Descriptiva***: Porque se toma los datos de campo, realiza los tratamientos correspondiente y hace una breve descripción de la situación de la mina Raura.

Es decir responde a la pregunta ¿Cómo es actualmente la mina?

- ***Explicativa***: Analiza la información resultante del tratamiento de los datos, los contrasta con los planteamientos teóricos para probar las hipótesis; es decir responde a la pregunta ¿Por qué es necesario seleccionar las alternativas?.

Cabe indicar que el tipo de estudio que se realizará es explicativo, de causa-efecto, porque van a responder a las causas de un fenómeno de estudio.

3.4.2. Población y muestra

La población y muestra estipulada para la ejecución y desarrollo de la presente investigación, es de la siguiente manera:

Población.

Son correspondientes a los datos de las variables de ventilación constituida por las labores de la mina Raura (Circuito Global).

Muestra.

- 13 Niveles principales
- Raise borers
- Tajeos
- 13 Bocaminas
- 57 Ventiladores.

3.4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.3.1. Técnicas

Una vez se haya recopilado la información de campo se iniciará la interpretación de la misma, la cual nos llevará al estudio y valoración de los resultados obtenidos para formular las posibles soluciones y

finalmente optimizar el circuito de ventilación, elaborando las alternativas para aumentar la cobertura de aire.

De conformidad con la naturaleza de las variables cruzadas en las dos sub hipótesis, se va a recurrir a la siguiente técnica que se va indicar a continuación:

a) ***Las técnicas de Observación de campo:*** Utilizando como instrumentos, formatos preparados de levantamiento de campo y planos con anticipación, para obtener los datos de las variables ingenieriles como caudal, temperatura, humedad relativa, presión, área de la sección de la galería y datos de los gases. Los instrumentos de recolección de datos para esta técnica se indica en el siguiente ítem (Instrumentos)

3.4.3.2. Instrumentos

El trabajo realizado en campo tendrá como finalidad obtener información empleando el método de medición y observación los instrumentos que se utilizaron para este trabajo fueron formatos (ventiladores, caudales mina, aforos, inventario de ventiladores inventario de personal y equipos), planos, equipos de medición.

Cuadro N° 7: Levantamiento de ventilación (BM-Labores internas principales y tajeos).

EST	UBICACIÓN			VELOCIDAD (m/s)									HORA hh:mm	TEMP	HR	SECCION	
	Zona	Niv.	Labor	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		°C	%	a (m)	h (m)
E1	Tinquicocha	380	BM XC_770SW	2.18	2.55	2.56	2.57	2.51	2.57	2.54	2.58	2.46	11:56	6.6	94.3	4.52	2.95
E2	Flor de Loto	380	XC_860NE	0.52	0.53	0.55	0.49	0.45	0.58	0.67	0.53	0.62	12:10	7.0	90.5	4.54	3.05
E3	Catuva	380	XC_890SE	2.30	2.39	2.39	2.21	2.29	2.18	2.27	2.35	2.11	12:31	7.5	92.8	4.27	2.47
E4	Esperanza	380	GL_832NW	0.72	0.72	0.62	0.76	0.77	0.92	0.64	0.83	1.09	12:50	7.3	91.9	2.99	2.52
E5	Torre Cristal	380	XC_113W	0.65	0.64	0.65	0.55	0.52	0.64	0.61	0.58	0.65	01:10	6.1	88.9	3.55	3.35
E6	Torre Cristal	380	XC_113W	1.48	1.42	1.37	0.94	2.35	1.02	0.86	0.97	1.22	01:22	6.1	88.9	1.5	D
E8	Flor de Loto	250	XC__036	1.13	1.20	0.97	1.18	1.15	1.24	1.23	1.19	1.25	03:22	9.4	85.5	4.37	4.11
E9	Flor de Loto	250	GI_978	0.76	0.73	0.73	0.74	0.78	0.63	0.70	0.67	0.57	03:44	9.7	91.1	4.38	4.28

E10	Flor de Loto	250	Rp_035(-)	0.41	0.52	0.52	0.53	0.59	0.37	0.48	0.44	0.40	04:00	11.3	85.3	4.51	4.35
E11	Gayco	300	XC_800W	1.09	1.40	0.97	1.10	1.08	1.26	1.37	1.08	0.96	10:20	7.6	77.8	4.48	3.58
E12	Gayco	300	XC_800W	1.07	1.02	0.94	0.94	0.92	0.93	0.91	0.94	0.93	11:36	6.1	81.6	4.65	3.66
E13	Gayco	300	XC_505N	0.39	0.33	0.39	0.07	0.19	0.31	0.20	0.33	0.08	12:00	11.5	69.3	4.46	3.68
E14	Gayco	300	Rp_230NW(+)	0.22	0.19	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.22	0.19	12:12	9.4	75.7	4.6	4.44
E15	Gayco	300	XC_800W (XC_672N)	0.66	0.65	0.60	0.60	0.65	0.55	0.62	0.60	0.56	12:53	8.2	89.5	4.83	3.72
E16	Gayco	300	XC_672	2.98	2.88	2.83	2.82	2.86	2.82	2.85	2.85	2.72	12:40	7.1	91.6	4.12	4.51
E17	Catuva	300	BM Shucshapa	1.72	2.29	2.75	2.65	2.73	2.72	2.73	2.72	2.64	02:45	8.6	82.9	3.76	2.74
E18	Catuva	300	XC_190NW	2.47	2.21	2.22	1.94	2.17	1.98	1.84	2.01	1.85	03:12	6.7	92.9	3.56	3.05

Fuente: El investigador

En el cuadro anterior se indica un ejemplo como se utilizó el formato de levantamiento de campo para las 123 estaciones en total (interior mina y aforos).

Cuadro N° 8: Inventario de Ventiladores Principales Global.

CODIGO	MARCA	NIVEL	ZONA	LABOR	TIPO	POSICION	MODELO	CAUDAL (CFM)	PRESION (Pt)	POTENCIA(HP)	VOLTAJE (VOLT)	AMP NOM.
VAMR-07	TIGRE	520	Gayco	RB-161	Principal	Extractor	VAV-54-26.5-756-II-B	100000	11.6	200	440	235
VAMR-25	TIGRE	630	Catuva	CH-036	Principal	Extractor	VAV.45-26.5-1750-I-B	50000	9.35	125	440	177
VAMR-09	AIRTEC	630	Catuva	RB-65	Principal	Extractor	VAV-60-26.5-1750-II-A	50000	12.3	125	440	151
VAMR-08	TIGRE	630	Catuva	RB-67	Principal	Extractor	VAV-60-26.5-1750-II-A	132000	13.73	200	440	235
VAMR-38	TIGRE	580	Esperanza	RB-76	Principal	Extractor	VAV-45-25-1750	60000	7.5	100	440	177
VAMR-50	TIGRE	610	Yanco	RB-152	Principal	Extractor	VAV-45-26.5-1750-II-A	50000	12.5	121	440	150
VAMR-60	FASCEL	SUP.	Santa Rosa	RB-106	Principal	Extractor	VAV-48-26.5-1750-II-B	58000	12	125	440	185
NUEVO	AIRTEC	630	Catuva	RB-123	Principal	Extractor	VAV-60-26.5-1785-II-A	120000	15.5	250	440	299

Fuente: El investigador

El cuadro anterior es un modelo; como se procedió el inventario de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares, haciendo un total de 60 ventiladores [23].

Cuadro N° 9: Inventario de personal Mina Raura Global

Empresa	Nivel	Zona	Cantidad
MICONG	590, 490	Margot	89
	520	Yanco	
	200	Catuva	
	380	Toromina	
CIA	300	Gayco	26
	490, 440, 380	Catuva	

[23] **Ver capítulo de resultados.**

AESA	250	Flor de Loto- Esper.	175
	380	Balilla-Esper.	
	300	Esperanza	
	200	Primavera - Balilla	
	Varios	Mantenimiento	
	Varios	Ap. Mina-Servicios	
	Varios	Sostenimiento	
	Varios	Equipo Locomotoras	
	300	Farallo, L.Hill, Gretty	
	250, 380, 300, 200	Pers. Perf. Mecan.	
		Operad. Scooptrams	
		Pers. Locomotoras	
ARBE	Varios	Servicios	26
GEODRILL	Varios	Farallon	20
	Toromina	Toromina	
TUMI	250	Raise Borer	10
GEOTECNIA	Todas	DDH	20
MULTIJEEVAL	RP Catuva	Conductores	16
SUB-TOTAL			**382**
FLOTANTES +5%			19
TOTAL			**401**

Fuente: El investigador

El cuadro anterior es un modelo; como se procedió el inventario del personal que pertenece a la guardia con mayor personal que ingresa a interior mina en todo los niveles y por circuito, haciendo un total de 401 personas. ***(Ver ítem de resultados)***

Cuadro N° 10: Inventario de equipos diesel Global.

EQUIPOS DIESEL	TOTAL	HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.
SCOOP 1.5 yd3	3	75	225	0.61	137
SCOOP 2.2 yd3	5	117	585	0.61	357
SCOOP 3.5 yd3	3	185	555	0.61	339
SCOOP 4.1 yd3	5	220	1,100	0.61	671
SCOOP 6 yd3	3	280	840	0.61	512
JUMBO 1-2 Bz.	10	80	800	0.61	488
CAMIONCITO TRANSPORTES	9	105	945	0.61	576
CAMIONETA	13	75	975	0.61	595
VOLQUETE-VOLVO	22	440	9,680	0.61	5,905
MINIEXCAVADOR	1	75	75	0.61	46

MOTONIVELADORA	1	161	161	0.61	98
TRACTOR D4	1	200	200	0.61	122
DUMPER 15 TON	2	210	420	0.61	256
SUB TOTAL	**78**	**2,223**	16,561	0.61	10,102
FLOTANTES (+5%)	**4**		**828**		**505**
TOTAL	**82**	**2,223**	**17,389**	0.61	**10,607**

Fuente: El investigador

El cuadro anterior es un modelo; como se procedió el inventario de equipo diesel que trabaja en interior mina en todos los niveles y por circuito, haciendo un total de 82 equipos.

(Ver ítem de resultados).

A. Metodología de Medición.

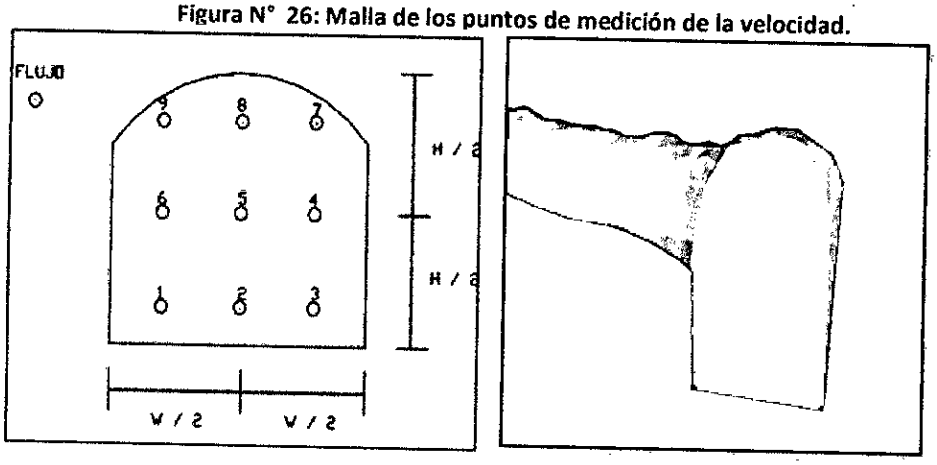
- ✓ Hay solo seis tipos de medición que deben hacerse para poder hacer todos los cálculos y requeridos para el Ventsim. Sección, tiempo, altitud, velocidad, presión, humedad relativa, temperatura y gases.

  Los equipos de medición que se utilizó fueron: Distanciometro (Leica disto D2), sonda de molinillo 60 mm (Testo 435), sonda de molino 16 mm (Testo 435), sonda de hilo caliente, tubo de Pitot, manómetro (Testo 511) y Altaír, instrumentos más utilizados en el levantamiento de campo.

- ✓ La medición de velocidades.

  Para esta medición se utilizó mayormente el termo-anemómetro de hilo caliente que es el instrumento más preciso y eficiente, la toma de velocidades se hace en el punto donde se levantó el área y en la cual se toma 9 mediciones para sacarles un promedio (representativo).

Figura N° 26: Malla de los puntos de medición de la velocidad.



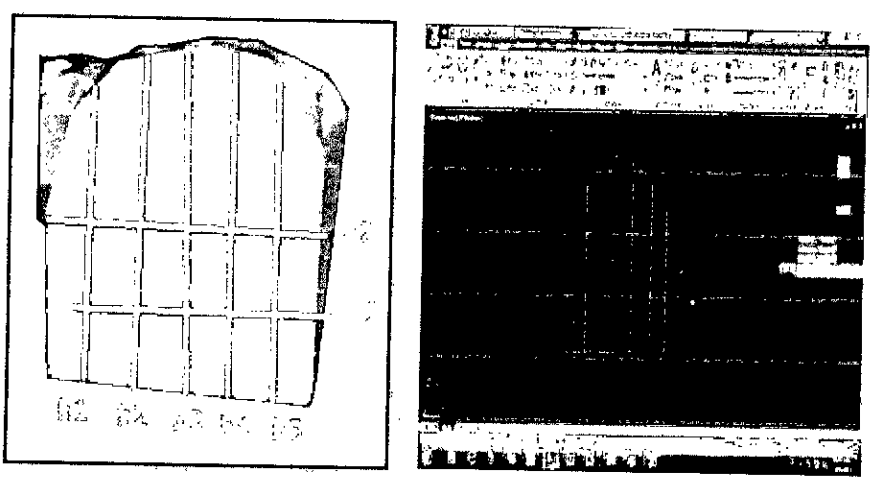
Fuente: El investigador.

La medición del área se realizó de la siguiente manera:

1. Primer método.

- ✓ La medición se realiza con el distanciometro, se realiza mediciones verticales distribuidas de manera uniforme por todo lo ancho de la galería y de la misma manera la medición horizontal. El número de mediciones varía de acuerdo a la sección pero siempre mayor a dos mediciones ya sea vertical u horizontal.
- ✓ Para la medición del área se utilizó el método del trapecio
- ✓ Estos datos son dibujados en AUTOCAD para determinar el área promedio.

Figura N° 27: Medición de sección (AutoCAD).

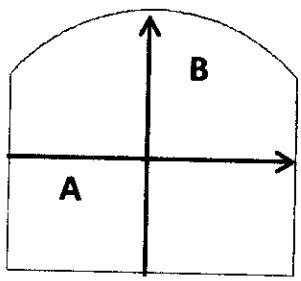


Fuente: El investigador.

2. Segundo método.

Se realiza dos mediciones, una horizontal y otra vertical al centro de la labor. Los datos obtenidos (h=B, a=A), para calcular el área se obtiene de la siguiente operación. Para una sección tipo baúl.

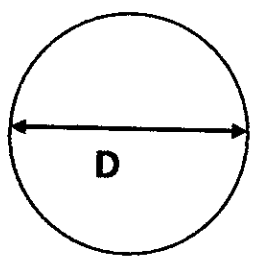
$$Área = \frac{(AxB)(\pi + 8)}{12}$$



$$Área = 0.93\ x\ AxB$$

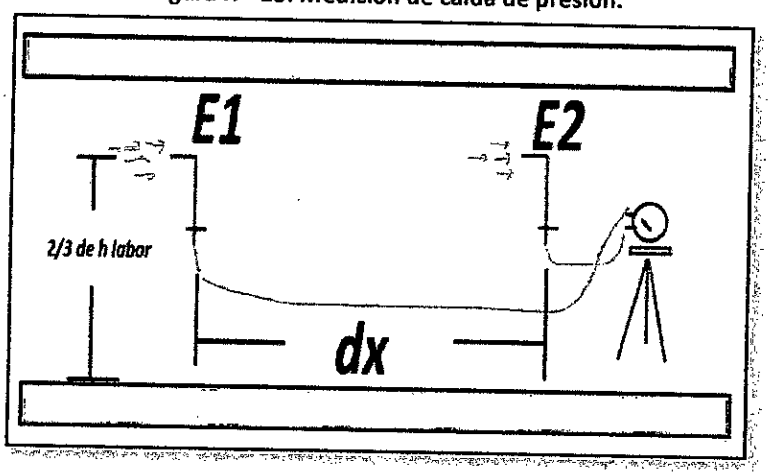
Para una sección circular.

$$Área = \pi x r^2 = \pi\ x\ \frac{D^2}{4}$$



Para la medición de presión primero identificamos el sentido del flujo para luego estacionar el trípode con su respectiva nivelación para colocar el manómetro diferencial. Las ubicaciones de los tubos de PITOT son perpendiculares a la labor para que el sentido del flujo ingrese paralelamente al orificio del este.

Figura N° 28: Medición de caída de presión.



3.4.4. Forma de tratamiento de los datos.

3.4.4.1. Criterios

Para entender el circuito es preciso hacer un levantamiento de la red de ventilación principal, por ello es importante conocer algunos criterios que permitirán hacer el trabajo del levantamiento.

- La cuadrilla debe estar conformado por no menos de 3 personas (recomendado un tercero de compañía que conozca el circuito de ventilación de la mina).
- Instrumento a cargar lapicero, lápiz, borrador y portaminas.
- Smoke tuve, servirán para medir caudales con bajas velocidades, al mismo tiempo que indicaran el sentido del aire.
- Anemómetro digital, para velocidades mayores donde el flujo de tubo de humo se esparce perdiéndose.
- Plano del nivel en A2, para escribir, colocando el sentido del flujo y la estación de referencia.
- Cuaderno de levantamiento, se colocara en el formato estándar las estaciones de referencia del plano A2 del nivel a levantar.
- Identificar todos los aforos de ser posible los más importantes.
- Identificar todos los ventiladores (primarios y secundarios) de ser posible los más importantes.
- Contar con los planos CAD en planta y en digital de cada nivel.
- Unificar los archivos de cada nivel en un solo archivo composito en AutoCAD de no ser posible tenerlo.
- Identificar los Rbs, Ch, Rampas, labores abiertas, que cruzan diferentes niveles.

- Tener un modelo unifilar 3D de la mina.
- Elegir un nivel para levantamiento por día, Sobre este nivel hacer un trabajo de gabinete previo al día del levantamiento.

Este trabajo de gabinete previo al levantamiento se denominara, levantamiento grafico previo.

Donde se dibuja con lápiz la proyección de las rampas en el nivel a levantar, así como las Rbs y Chs, la ubicación de lugares estratégicos, sea comedor, ruta de equipos, zonas de laboreos, de tajos, etc.

Esta información debe ser obtenida previa conversación con planeamiento, jefe de ventilación, es decir hacer un trabajo de investigación de los detalles del nivel

3.4.4.2. Procedimiento

A. Antes de ir al campo.

Verificación del equipo herramientas y materiales de monitoreo (Check list), verificar el equipo si se encuentra calibrado (programa de calibración anual), realizar el PETAR (si amerita el tipo de trabajo a realizar; trabajos de alto riesgo) y llevar consigo planos CAD 2D por nivel y un plano de la ruta a levantar, este paso es lo más importante para así saber en gabinete cual fue el recorrido y agrupárselos en VENTSIM tanto de presione y caudales y anotando las observaciones que se pudiese encontrar para así tener en cuenta al momento de la calibración y no tener problemas más adelante (procedimiento muy importante).

También es importante el formato de presiones, caudales e inventario de ventiladores para ser llenados en campo.

B. En campo.

Antes de iniciar la medición se debe hacer uso de todo el EPP, como el tapón auditivo para contrarrestar el nivel de ruido y protegerse y respirador para evitar la inhalación de las partículas de humo emitidas por los equipos y vehículos.

Inspeccionar la ventilación, desate de rocas y estabilidad de la zona y/o sostenimiento previniendo la caída de rocas y de personas.

Llenar el formato de IPERC para cada tarea que se va a realizar y su respectivo control.

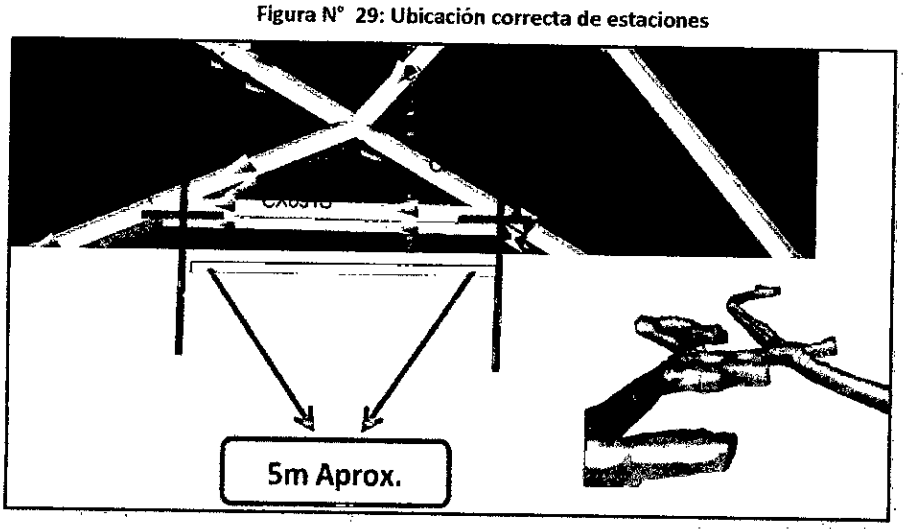
Proceso de la medición.

Realizar las mediciones en todas las labores de operación mina.

a. Presiones manométricas.

1. Ubicarse del nodo a unos 5m aproximadamente para evitar la turbulencia del aire y de esta manera tener datos más precisos.

Figura N° 29: Ubicación correcta de estaciones

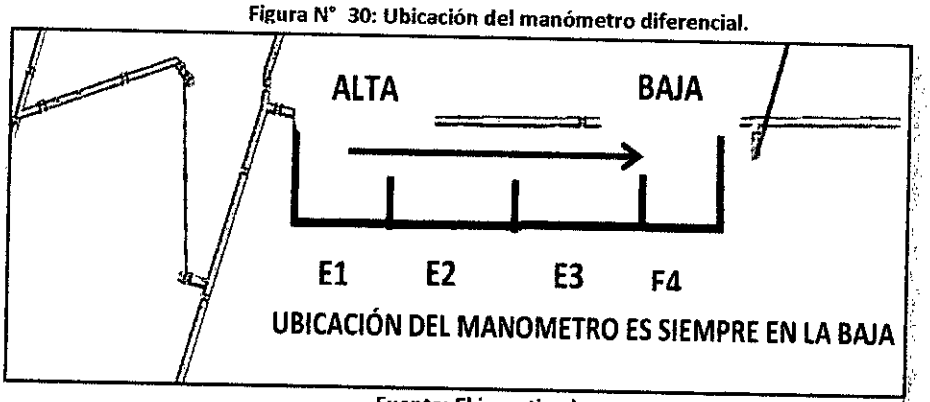


Fuente: El investigador.

2. Una vez extendida la manguera de la primera estación a la segunda estación, identificamos el sentido del flujo para luego estacionar el trípode con su respectiva nivelación para colocar el manómetro diferencial.
3. La ubicación de los tubos de PITOT es perpendicular a la labor para que el sentido del flujo ingrese paralelamente al orificio.
4. Un ramal mayormente a conformar varios tramos, y la metodología para la siguiente estación es la misma que el anterior.

   En la estación donde se tomó la diferencia de presión también se toma la medición de presión barométrica, temperatura de bulbo húmedo y seco, punto roció, humedad relativa, velocidad e incluso la hora como también la cota

Figura N° 30: Ubicación del manómetro diferencial.



Fuente: El investigador.

b. Caudal del caudal de aire.

Para realizar el levantamiento de caudal se hace con mucho criterio en zonas uniformes y rectas y como mínimo 10 m de longitud para ello se necesita medir el área y la velocidad del flujo en este caso el viento, del mismo modo se realiza para tomar la caída de presión con el tubo de pitot y en manómetro diferencial en una longitud determinada.

c. Gabinete.

Se realiza los siguientes trabajos.

PARTE I: Diagnostico

1. Planos de ventilación en 2D por niveles, según el levantamiento de campo en CAD (caudales, velocidad, área, temperatura, humedad relativa, dirección del aire) y tablas Excel de las mediciones realizadas.
2. Plano en 3D (isométrico) del sistema de ventilación integral con sus caudales principales, ingresos y egresos de aire.

   La ubicación de cada ventilador principal, secundario y auxiliar, la ubicación y características de reguladores, puertas u otros dispositivos de encauzamiento, la ruta de acarreo y transporte de desmonte y/o mineral, balance de ventilación, requerimientos y cobertura de aire.
3. Registro de balance, requerimiento y cobertura de aire en archivo Excel.
4. Registro de los aforos principales, secundarios y auxiliares de las mediciones de campo por niveles en archivo Excel.
5. Registros de las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa y concentraciones de agentes químicos.
6. Presentar una descripción y explicación del circuito global, las tablas donde se indique los caudales globales, superávit déficit; así como cualquier observación adicional importante.
7. 06 estándares de ventilación y Procedimientos de trabajo: Instalación de ventiladores (principal, secundario y auxiliar),

instalación de mangas de ventilación, monitoreo de temperatura, monitoreo de vehículos y equipos diesel, monitoreo de gases, tapones de ventilación.

8. Matriz de ventilación y estatus de su cumplimiento.

PARTE II: Modelamiento en 3D y Diseño de las Alternativas:

1. Modelamiento del circuito de ventilación en Ventsim.

- Sección de los diferentes ramales.
- Ubicación y caracterización estándar de las puertas, reguladores ya sea al 50%, 80%, 90%, obstrucciones y tapones.
- La ubicación e identificación de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares y sus mangas de ventilación con un diámetro.
- Las características de los ventiladores, dadas por el proveedor. Ángulos de alabes, si es de una o doble etapa, diámetro del ventilador, diámetro de descarga, potencia de consumo medido en campo, caudal, temperatura y densidad.

2. Calibración del circuito de ventilación en el Ventsim.

- El archivo del circuito de ventilación en Ventsim ya calibrado.
- Una gráfica xy con las curvas de los ventiladores con su punto de operación.

  Además en una tabla se deberá indicar el punto de operación de cada ventilador, caudal, potencia real consumida, temperatura real y densidad, caudal simulado, presión simulada, potencia simulada, temperatura simulada y densidad simulada.

- Levantamiento de ventilación integral en Ventsim.
- Análisis de los circuitos de ventilación con el Ventsim.
- Analizar un incremento de -25%, -10%, 10%, 25%, 50% y 100% al caudal por lo ventiladores principales (cambiando sus curvas u otros ventiladores) como afectan a los diferentes ramales de los circuitos en caudal, presión y costos en el circuito real.

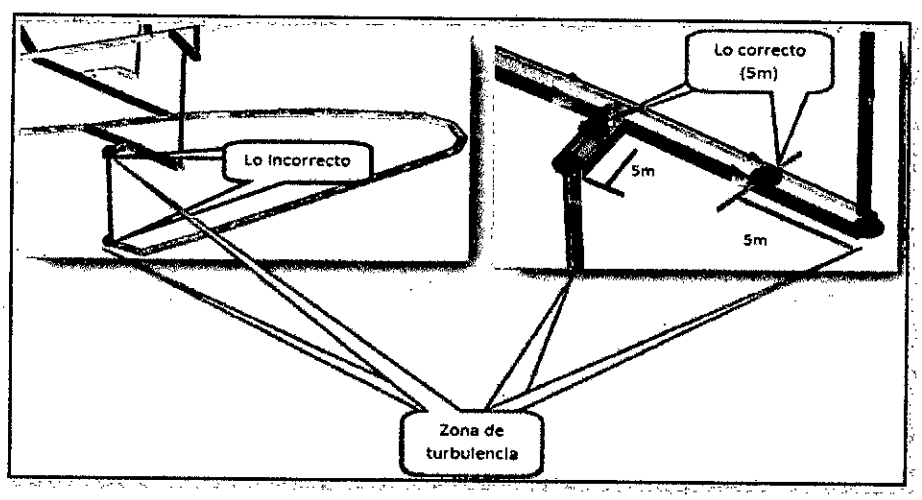
3. Análisis de mejora de corto plazo y poca inversión

- Presentar posibles mejoras del circuito de corto plazo (sin hacer mayores inversiones en laboreos), solo admitiendo costos de encauzamiento, pequeñas chimeneas o mejoras en los ventiladores.

3.4.4.3. Restricciones.

a. Para la medición de presión y caudal en una chimenea se tiene que tener en cuenta la turbulencia del flujo de aire, para evitar esto se realiza la medición a unos cinco metros como promedio aplicando mucho criterio para tal medición.

Figura N° 31: Medición correcta de velocidad de aire.

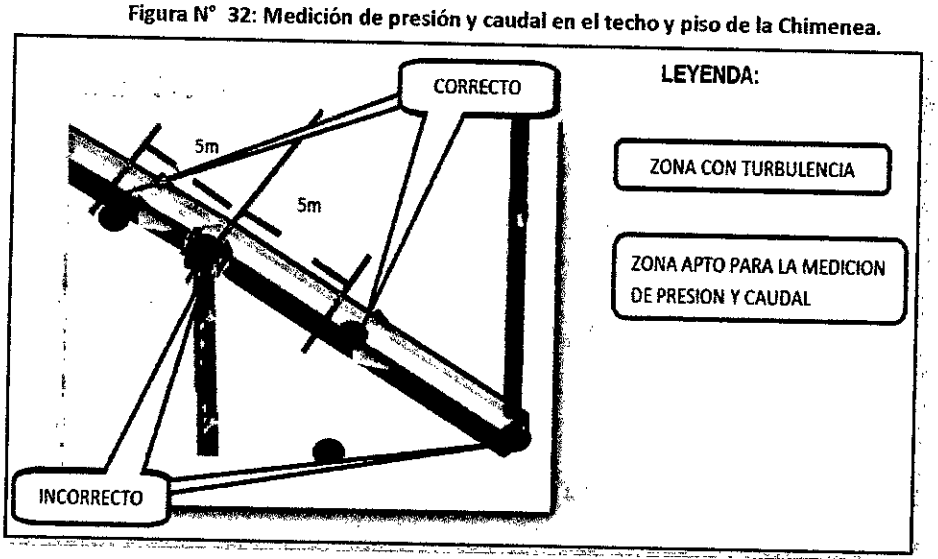


Fuente: El investigador.

Mediciones correctas e incorrectas tanto en la parte superior como en la inferior de las chimeneas (presiones barométricas o atmosféricas), con el tubo de Pitot de proveedor Dwyer.

b. En este caso se debe realizar dos mediciones antes de la chimenea y después de la chimenea a una distancia del eje 5m como promedio para evitar la turbulencia (dirección del aire en forma laminar) del flujo del aire (medición de presión y caudal).

Figura N° 32: Medición de presión y caudal en el techo y piso de la Chimenea.



Fuente: El investigador.

c. No medir los caudales y temperatura el mismo día, es muy importante, porque la temperatura cambia de un día a otro incluso de entre la noche y el día, si se toma la temperatura de un nivel particular en un determinado día esta temperatura estará influenciada por la temperatura externa (t1) la misma que cambiara de día a día.

Por esta razón y poder comparar la presión de natural entre diferentes niveles se debe de contar con la misma temperatura externa en cada nivel.

CAPÍTULO IV

RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Luego de haber recopilado la información de campo se inició la interpretación de la misma, la cual nos llevará al estudio y valoración de los resultados obtenidos para formular las posibles soluciones y finalmente optimizar el circuito de ventilación y las actividades a desarrollar para mejorar las condiciones ambientales.

Se utilizó diferentes programas de la minería para calcular los siguientes diseños y cálculos.

- Programa aplicativo.(Ventsim Visual V.3.5)
- Hojas de calculo
- Bases de dato
- Graficadores: Minesight, AutoCAD y Excel, etc.

Cuadro N° 11: Levantamiento general de ventilación (BM-labores internas)

EST	UBICACIÓN			VELOCIDAD (m/s)										MEDICIONES ALTURA (m)					TEMP	HR	ANCHO	AREA	Vel. Prom.	Caudal
	Cir.	Nivel	Labor	V1	V2	V3	V4	V6	V6	V7	V8	V9	F	H1	H2	H3	H4	H5	°C	%	a (m)	m^2	m/min	cfm
E1	III	380	BM XC_770SW	2.18	2.55	2.56	2.57	2.51	2.57	2.54	2.58	2.46	2.47	2.50	2.64	2.85	2.64	2.23	6.6	94.3	4.52	10.73	149.94	56,807
E2	III	380	XC_660NE	0.52	0.53	0.55	0.49	0.45	0.58	0.67	0.53	0.62	0.65	2.47	2.46	3.05	2.45	2.45	7.0	90.5	4.54	10.68	33.54	12,648
E3	III	380	XC_690SE	2.30	2.39	2.39	2.21	2.29	2.18	2.27	2.35	2.11	1.78	2.30	2.45	2.47	2.27	2.00	7.5	92.8	4.27	8.81	133.62	41,581
E4	III	380	GL_832NW	0.72	0.72	0.62	0.76	0.77	0.92	0.64	0.83	1.09	1.10	1.84	2.26	2.52	2.62	2.59	7.3	91.9	2.99	5.89	49.02	10,196
E5	III	380	XC_113W	0.65	0.64	0.65	0.55	0.52	0.64	0.61	0.58	0.65	0.52	2.47	2.83	3.35	2.98	2.94	6.1	88.9	3.55	9.01	36.06	11,467
E6	III	380	XC_113W	1.48	1.42	1.37	0.94	2.35	1.02	0.86	0.97	1.22	0.97	D=1.5					6.1	88.9	1.5	1.77	75.60	4,718
E8	III	250	XC__036	1.13	1.20	0.97	1.18	1.15	1.24	1.23	1.18	1.25	1.22	3.55	4.03	4.11	4.10	3.69	9.4	85.5	4.37	15.34	70.53	38,207
E8-1	III	250	CM_670NW	1.63	1.63	1.75	1.63	1.58	1.72	1.70	1.78	1.72	1.80	3.38	3.86	4.08	4.01	3.37	9.7	90.2	4.36	14.98	101.64	53,774
E9	III	250	GI_978	0.76	0.73	0.73	0.74	0.76	0.63	0.70	0.67	0.57	0.66	4.09	3.76	4.28	4.12	4.16	9.7	91.1	4.38	15.69	41.79	23,455
E10	III	250	Rp_035(-)	0.41	0.52	0.52	0.53	0.59	0.37	0.48	0.44	0.40	0.47	3.77	4.22	4.35	4.25	3.63	11.3	85.3	4.51	16.59	28.35	16,611
E11	III	300	XC_800W	1.09	1.40	0.97	1.10	1.08	1.26	1.37	1.08	0.96	1.03	2.87	3.39	3.58	3.52	3.10	7.6	77.8	4.48	13.44	68.04	32,283
E12	V	300	XC_800W	1.07	1.02	0.94	0.94	0.92	0.93	0.91	0.94	0.93	0.94	3.32	3.39	3.66	3.64	1.37	6.1	81.6	4.65	13.61	57.21	27,495
E13	V	300	XC_505N	0.39	0.33	0.39	0.07	0.19	0.31	0.20	0.33	0.08	0.08	3.35	3.56	3.68	3.36	3.05	11.5	69.3	4.46	13.71	14.19	6,871
E14	V	300	Rp_230NW(+)	0.22	0.19	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.22	0.19	0.22	4.05	4.14	4.44	3.39	3.84	8.4	75.7	4.6	16.49	13.41	7,811
E15	V	300	XC_800W (XC_672N)	0.66	0.65	0.60	0.60	0.65	0.55	0.62	0.60	0.56	0.58	2.50	3.15	3.72	3.21	2.67	8.2	89.5	4.83	13.94	36.42	17,927
E16	V	300	XC_672	2.88	2.88	2.83	2.82	2.86	2.82	2.85	2.85	2.72	2.77	3.92	3.93	4.51	3.9	3.94	7.1	91.6	4.12	14.82	170.28	88,105
E17	II	300	BM Shucshapa	1.72	2.29	2.75	2.65	2.73	2.72	2.73	2.72	2.64	2.65	2.66	2.65	2.74	2.68	2.64	8.6	82.9	3.76	8.74	153.57	47,393
E18	II	300	XC_190NW	2.47	2.21	2.22	1.94	2.17	1.98	1.84	2.01	1.85	1.90	2.39	2.76	3.05	2.96	2.81	5.7	92.9	3.56	8.64	123.51	13,189
E19	II	300	XC_190NW	4.41	4.01	4.11	4.48	3.81	4.15	4.01	4.03	3.69	4.09	D=1.5					8.6	82.9	1.5	1.77	244.71	15,271
E20	II	250	Rp_860(+)	0.83	0.90	0.83	0.89	0.58	0.92	0.93	0.95	0.97	0.93	3.39	3.71	4.05	3.78	3.31	13.6	86.1	4.53	15.08	52.38	27,900
E21	II	200	Rp_860(-)	0.17	0.13	0.12	0.09	0.11	0.18	0.14	0.19	0.20	0.15	3.48	3.96	4.04	4.01	3.23	15.7	58.1	4.75	16.38	8.85	5,120
E22	II	200	XC_120	0.49	0.39	0.39	0.49	0.36	0.36	0.42	0.35	0.44	0.47	3.35	3.80	4.00	3.96	4.05	9.1	85.2	4	13.52	24.93	11,903
E23	II	200	BP_200SW	0.51	0.61	0.50	0.45	0.52	0.42	0.35	0.55	0.57	0.51	3.46	3.73	3.76	3.67	2.69	10.5	91.0	4.36	13.73	28.84	14,514
E24	II	200	XC_830	1.22	1.32	1.52	1.42	1.64	1.46	1.52	1.66	1.68	1.55	3.34	3.84	4.06	3.86	3.04	16.1	84.5	4.64	15.56	89.94	49,409
E25	II	300	XC_870SE	0.74	0.82	0.90	0.82	0.78	0.64	0.85	0.87	0.79	0.81	3.53	4.08	4.18	3.79	2.35	17.1	80.9	4.67	15.74	48.09	26,732
E26	II	300	GL_805	0.65	0.72	0.71	0.74	0.67	0.97	0.84	0.79	0.71	0.73	1.45	3.88	4.16	3.85	3.25	10.4	90.8	5	16.12	45.15	25,702
E27	II	250	GL_037N	0.57	0.45	0.51	0.56	0.41	0.40	0.45	0.48	0.40	0.48	4.18	4.64	4.39	3.68	3.19	10.8	92.0	4.55	16.57	28.26	16,632
E28	II	250	XC_840N	0.55	0.55	0.53	0.57	0.58	0.65	0.66	0.68	0.59	0.58	3.37	3.74	3.85	3.67	3.17	11.6	90.0	4.35	14.00	35.64	17,620
E29	II	250	RB_149	1.15	0.85	1.09	1.13	1.12	1.14	1.11	0.89	1.17	1.15	D=1.5					11.6	90.3	1.5	1.77	65.40	4,081
E29-1	II	250	RB_143	1.48	1.25	1.18	1.16	1.53	1.63	1.16	1.18	1.17	1.17	D=1.5					12.7	85.4	1.5	1.77	77.43	4,832
E30	III	580	BM Esperanza	1.22	4.85	3.01	4.60	3.69	4.52	3.60	4.33	4.52	4.56	3.27	3.62	3.69	3.29	3.36	8.2	59.2	4.31	13.29	234.60	110,144
E31	III	580	XC_955S	0.10	0.12	0.09	0.05	0.06	0.05	0.10	0.05	0.04	0.05	2.14	2.54	2.80	2.77	2.43	7.0	72.2	3.58	7.92	4.23	1,183
E32	III	630	BM Gayco N	0.97	1.03	0.98	0.97	0.99	1.01	0.98	0.99	0.97	0.97	2.63	2.68	2.85	2.58	2.30	6.8	74.9	3.26	7.23	59.16	15,110
E33	III	630	BM Gayco S	1.02	1.12	1.12	0.86	1.16	1.06	0.99	1.26	1.08	0.97	2.94	3.04	3.25	3.06	3.04	3.5	87.5	3.49	9.21	63.84	20,760
E34	IV	660	BM Abra	0.24	0.20	0.26	0.27	0.17	0.20	0.94	0.29	0.27	0.27	2.28	2.53	2.54	2.38	1.95	5.8	73.3	3.55	7.21	18.66	4,753
E35	IV	660	GA, al pie AL_305	0.12	0.23	0.22	0.19	0.25	0.26	0.24	0.43	0.33	0.26	2.29	2.68	2.75	2.46	2.22	4.1	93.8	3.59	7.77	15.18	4,165
E36	IV	610	RB_109	1.67	1.88	1.71	1.75	1.27	1.81	1.79	1.01	1.07	1.41	D=1.5m					6.1	84.3	1.5	1.77	92.22	5,755
E37	IV	520	XC_168NW	1.53	1.60	1.60	1.71	1.60	1.85	1.80	1.78	1.67	1.69	3.74	3.67	3.71	3.59	3.37	4.8	91.1	4.19	13.41	100.98	47,811
E38	IV	520	BM Yanco	0.80	0.76	0.77	0.78	0.82	0.73	0.74	0.78	0.74	0.76	3.54	3.05	4.07	2.87	2.76	4.9	84.3	4.53	13.52	46.08	22,005

E39	I	Sup	Sup. RB_95	2.96	2.98	3.30	3.25	3.55	2.95	3.14	3.18	3.25	3.25	D=1.5m					7.1	40.7	1.5	1.77	190.86	11,911
E40	I	Sup	Sup. RB_137	3.80	3.89	3.97	3.92	3.82	3.82	3.83	3.86	3.84	3.88	D=1.5m					7.5	46.1	1.5	1.77	231.78	14,464
E41	I	590	BM Margot RP_738	2.44	2.52	2.87	3.07	3.08	3.02	3.09	2.99	3.05	3.06	1.88	2.84	2.85	2.67	2.73	10.0	65.1	2.65	5.50	175.14	34,042
E42	I	590	XC_747_SW	4.01	4.75	4.16	4.16	4.02	4.19	4.19	4.17	4.01	4.09	2.38	2.46	2.46	2.38	2.18	6.1	90.9	2.56	4.86	250.47	42,955
E43	I	590	XC_720S	0.24	0.26	0.26	0.26	0.23	1.12	0.17	1.42	1.19	0.73	2.98	3.01	2.87	2.52	2.69	4.7	89.9	2.9	6.75	35.25	8,407
E44	I	590	BM Hidro	2.03	5.02	4.99	5.32	5.11	4.97	5.04	5.06	5.76	5.54	3.37	2.56	2.49	2.44	2.43	5.9	79.6	2.54	5.50	293.04	56,888
E45	II	490	XC_910NE	1.46	1.60	1.97	1.98	2.14	1.90	1.75	2.25	2.29	2.14	3.01	3.48	3.35	3.12	2.08	10.5	93.4	4.68	13.11	116.85	54,081
E46	II	490	XC_092NE	1.97	1.93	1.87	1.82	1.82	1.83	1.72	1.84	1.85	1.84	2.40	2.89	3.22	3.14	2.62	10.4	90.7	4.17	10.78	110.91	42,231
E47	II	490	XC_910NE	2.70	2.78	2.66	2.62	2.58	2.50	2.59	2.70	2.62	2.62	2.49	2.83	2.88	2.88	2.02	10.1	95.7	3.94	9.25	158.22	51,658
E48	II	490	XC_910NE	1.77	1.78	1.68	1.82	1.75	1.76	1.79	1.69	1.75	1.79			4.12			7.7	98.7	3.54	13.56	105.45	50,510
E49	I	490	XC_910NE	1.78	1.65	1.85	2.01	2.07	2.17	2.17	2.09	2.11	2.06	2.25	2.91	2.92	2.90	2.90	7.1	93.7	3.59	8.66	119.76	36,618
E50	I	490	Pie RB_71	0.57	0.57	0.55	0.54	0.56	0.56	0.55	0.53	0.54	0.54	D=1.5m					6.8	83.1	1.5	1.77	33.06	2,063
E51	I	490	XC_645S	0.07	0.07	0.07	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04			4.55			10.7	74.2	4.32	18.28	3.48	2,246
E52	I	440	XC_970SE	0.83	0.74	0.85	0.96	0.91	0.73	0.74	0.74	0.88	0.92			3.92			9.3	81.1	4.56	16.62	49.80	29,235
E53	II	440	XC_925SE	0.49	0.47	0.33	0.41	0.42	0.32	0.31	0.43	0.39	0.40			4.89			11.2	94.0	4.4	20.01	23.82	16,832
E54	I	300	XC_489SE	0.48	0.45	0.45	0.44	0.45	0.52	0.48	0.50	0.47	0.46			3.70			7.5	85.5	3.76	12.94	28.14	12,857
E55	I	300	XC_405NE	0.48	0.50	0.53	0.54	0.55	0.52	0.62	0.61	0.67	0.61	2.59	2.95	2.96	2.71	2.37	7.3	89.5	3.88	9.34	33.75	11,129
E56	I	300	XC_489	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05	0.04	0.05	0.05	0.08	0.08	3.80	3.89	3.77	3.80	3.41	8.8	86.6	4.21	13.94	3.54	1,743
E57	II	300	RP_940(-)	1.69	1.53	1.70	1.69	1.76	1.53	1.67	1.67	1.58	1.64			3.76			12.5	94.4	4.53	15.84	98.73	55,229
E58	II	300	RP_940(+)	0.87	0.99	0.92	0.95	0.93	0.90	0.97	0.92	0.94	0.95			3.75			12.5	95.0	4.91	17.12	56.01	33,869
E59	II	300	XC_960W	0.69	0.65	0.59	0.75	0.80	0.87	0.80	0.89	0.89	0.82			2.89			13.6	89.1	3.68	9.89	46.50	16,242
E60	II	630	BM Catuva	1.99	2.46	2.47	2.41	2.43	2.34	2.45	2.44	2.38	2.40			4.53			8.1	67.5	5.63	23.72	142.59	119,433
E61	II	540	XC_830S	1.05	1.08	1.02	0.94	0.81	0.90	0.86	1.04	1.07	1.01	3.06	4.16	4.35	3.68	3.03	11.3	80.4	6	21.55	58.65	44,623
E62	II	490	Pie CH_036	7.63	7.72	7.33	7.96	7.72	7.82	7.30	7.86	7.78	7.87			1.92			11.1	91.8	2.91	5.20	461.94	84,764
E64	II	490	XC_960 NE	0.95	0.98	1.23	1.18	1.14	0.98	0.96	1.23	1.30	1.24			3.58			9.4	84.7	4.11	13.68	67.14	32,444
E65	II	490	RP_930 (-)	0.79	0.75	0.82	0.85	0.86	0.82	0.85	0.83	0.83	0.84			4.61			12.2	89.9	4.83	20.71	49.44	36,154
E66	III	300	BP_550E	0.28	0.27	0.32	0.41	0.28	0.31	0.34	0.27	0.24	0.33	2.64	3.33	3.45	3.07	2.18	10.6	67.8	5.33	15.08	18.27	9,731
E67	III	300	BP_550E	1.14	1.89	2.10	2.14	2.16	1.14	1.89	2.10	2.14	2.14	D=1.5 m					9.0	82.5	RB	1.77	113.04	2,822
E68	III	300	BP_550W	1.41	1.79	1.43	1.59	1.45	1.41	1.79	1.43	1.59	1.59	D=1.5 m					8.5	86.6	RB	1.77	92.88	5,796
E69	III	300	BP_550W	1.11	0.96	1.01	0.87	0.92	1.11	0.96	1.01	0.87	0.87	D=1.5 m					7.7	79.3	RB	1.77	58.14	3,628
E70	III	300	BP_550W	1.34	1.31	1.18	1.00	1.49	1.34	1.31	1.18	1.00	1.00	D=1.5 m					7.7	79.3	RB	1.77	72.90	4,549
E71	III	300	BP_550W	2.61	2.60	2.79	2.54	2.92	2.61	2.60	2.79	2.54	2.54	D=1.5 m					6.9	87.3	RB	1.77	159.24	9,937
E72	III	300	XC_035	0.63	0.69	0.72	0.83	0.72	0.63	0.69	0.72	0.83	0.83	D=2.22 m					13.0	66.7	RB	3.87	43.74	5,979
E73	III	250	XC_035	0.20	0.22	0.15	0.11	0.14	0.14	0.15	0.14	0.11	0.11			3.91			15.4	57.8	5.87	21.35	8.82	6,648
E74	III	250	XC_960W	0.76	0.70	0.66	0.67	0.65	0.76	0.73	0.77	0.77	0.72			4.17			10.8	84.7	4.75	18.42	43.14	28,063
E75	III	250	XC_954W	0.77	0.82	0.55	0.58	0.82	0.74	0.98	0.97	0.91	0.75			4.36			10.9	83.4	4.36	17.68	47.31	29,536
E76	III	300	BP_795N	2.86	2.88	2.86	2.50	2.48	1.94	1.76	2.17	2.50	2.50	D=2.22 m					8.0	78.6	2.22	3.87	146.70	20,053
E77	II	490	RB_105	9.64	12.22	13.00	11.74	13.51	9.65	12.30	12.90	11.80	11.77	D=1.5m					9.4	95.2	1.5	1.77	711.18	44,381
E78	II	490	Cerca a RB_52	0.25	0.37	0.90	0.98	0.41	0.35	0.55	0.60	0.75	0.87			1.90			9.4	95.2	1.9	3.36	36.15	4,286
E79	II	490	GA_375E	0.55	0.53	0.52	0.52	0.64	0.67	0.61	0.64	0.60	0.56			2.74			9.2	95.3	2.74	6.98	35.04	8,640
E80	II	490	Pie RB_63	1.03	1.33	0.89	1.15	1.35	1.02	1.32	0.88	1.15	1.15	D=1.5m					9.1	95.1	RB	1.77	67.62	4,220
E81	II	490	GA_395 SE	0.08	0.17	0.11	0.08	0.11	0.15	0.14	0.10	0.09	0.09			3.10			7.3	87.0	3.1	8.94	6.69	2,111

E82	II	490	XC_960NE	0.06	0.10	0.12	0.13	0.06	0.07	0.11	0.12	0.08	0.11	D=1.5m							7.4	86.1	RB	1.77	5.73	358
E83	II	490	GA_120E	0.43	0.44	0.43	0.37	0.41	0.35	0.54	0.56	0.51	0.44			4.22					7.4	88.2	4.22	16.56	26.88	15,721
E84	I	300	XC_489	1.36	1.31	1.61	1.66	1.67	1.20	1.29	1.39	1.56	1.61			3.32					7.6	88.7	3.32	10.25	87.96	31,841
E85	I	300	GL_460E	0.11	0.13	0.20	0.26	0.16	0.19	1.40	0.18	0.17	0.22			2.66					7.6	89.3	2.66	6.58	18.09	4,204
E86	III	380	XC_730SW	2.74	2.61	2.60	2.72	2.90	2.70	2.72	2.69	2.82	2.77	D=1.5							6.3	84.0	RB	1.77	163.62	10,211
E87	III	380	RB_151	5.12	4.72	3.96	3.75	3.75	3.77	3.98	3.95	3.84	3.80	D=1.5							6.3	84.0	RB	1.77	243.81	6,086
E88	III	380	XC_612S	1.24	1.20	1.39	1.23	1.14	1.23	1.30	1.15	1.14	1.19			2.86					6.5	86.0	2.86	7.61	73.23	19,672
E89	III	380	BP_832NE	0.09	0.10	0.09	0.07	0.08	0.10	0.12	0.11	0.07	0.07			3.21					5.9	88.6	3.21	9.58	5.40	1,827
E90	III	380	BP_832NW	1.52	1.56	1.55	1.53	1.55	1.52	1.58	1.60	1.60	1.57			2.80					5.7	88.3	2.85	7.42	93.45	24,491
E91	II	380	XC_974W	0.18	0.20	0.22	0.22	0.19	0.23	0.22	0.25	0.23	0.23	D=1.5							8.5	95.5	RB	1.77	12.99	811
E92	II	380	XC_943E	0.90	0.99	0.96	0.97	1.00	0.92	0.98	1.00	1.02	1.00			3.36					8.3	84.3	3.36	10.50	58.23	21,591
E93	II	380	XC_943E	0.97	0.99	1.13	1.14	1.15	0.98	1.05	1.06	1.07	1.11			3.42					11.6	88.6	3.42	10.88	63.87	24,535
E94	II	380	RP_Principal (-)	0.65	0.83	0.80	0.94	1.03	0.97	0.90	0.93	0.89	0.92			4.34					11.6	88.2	4.34	17.52	53.13	32,866
E95	II	380	XC_859NW	0.94	1.03	1.12	1.07	0.98	0.94	0.98	1.12	1.00	1.04			3.80					11.3	88.4	3.8	13.43	61.29	29,066
E96	II	380	RP_Principal	0.28	0.23	0.25	0.27	0.23	0.23	0.20	0.26	0.31	0.29			4.07					10.1	88.2	4.07	15.41	15.30	8,324
E97	III	380	XC_890SE	0.93	0.88	0.92	1.08	0.88	0.90	0.98	0.88	0.90	0.99			3.25					7.0	96.6	4.08	12.33	56.04	24,405
E98	III	380	GL_015W	0.62	0.72	0.74	0.84	0.87	0.65	0.80	0.88	0.89	0.87			2.45					7.0	96.5	3.48	7.93	47.25	13,231
E99	III	580	XC_955S	2.36	2.71	2.82	2.64	3.07	2.35	2.72	2.83	2.64	2.64	PIQUE (0.97X0.87)							7.2	96.4	0.97	0.84	160.68	4,789
E100	III	580	XC_955W	1.62	1.73	2.08	2.20	1.76	1.50	1.82	1.90	2.04	2.12	PIQUE (0.72X1.22)							7.4	96.5	0.72	0.88	112.62	3,493
E101	III	300	GL_870E	0.37	0.39	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.38	0.39			3.48					8.1	86.5	4.57	14.79	22.89	11,956
E102	III	300	XC_035NW	1.74	1.86	1.68	1.80	1.75	1.60	1.65	1.75	1.77	1.75			3.51					7.5	86.5	3.8	12.40	104.10	45,601
E103	III	300	XC_035NW	0.34	0.33	0.31	0.31	0.34	0.32	0.31	0.30	0.32	0.32			4.51					8.3	94.0	4.02	16.86	19.17	11,414
E105	III	300	BP_800W	0.32	0.29	0.30	0.28	0.35	0.28	0.32	0.31	0.32	0.30	D=1.8							7.7	80.9		2.54	18.42	1,655
E106	II	630	BM Taller Arbe	0.66	0.85	0.91	0.99	1.05	0.58	0.59	0.81	0.94	0.97			3.48					5.3	81.0	5.12	16.57	50.07	29,299
E107	II	630	BM Santa Ana GA_581E	1.20	1.09	1.19	1.10	1.18	1.08	1.04	1.16	1.03	1.07			2.75					5.4	85.2	2.76	7.06	66.81	16,654
E108	II	590	GL_435 (RB_130)	3.39	3.02	3.50	3.68	3.29	3.38	3.01	3.49	3.65	3.67	D=1.5							5.5	94.0	1.5	1.77	204.45	12,759
E109	I	590	CH_Alimak_874	1.54	1.92	1.68	2.19	2.20	1.54	1.93	1.79	2.10	2.15			2.50					6.1	90.7	2	5.00	114.21	20,166
E110	I	440	RB_97	0.53	0.52	0.54	0.52	0.51	0.49	0.48	0.56	0.53	0.53	D=1.5							10.2	76.7	1.5	1.77	31.23	1,949
E111	I	490	XC_645S	0.49	0.49	0.54	0.59	0.61	0.57	0.54	0.57	0.55	0.57			4.20					7.8	82.0	3.51	13.71	33.12	16,035
E112	II	502	Rp_930 (+)	1.33	1.34	1.40	1.41	1.47	1.35	1.45	1.45	1.45	1.33			4.83					9.2	90.8	4.62	20.75	83.88	61,472
E113	II	540	XC_630S	1.85	1.89	1.90	1.93	1.87	1.86	1.90	1.94	1.87	1.90	3.05	3.72	4.22	3.75	3.18			11.3	80.4	3.54	11.11	113.46	44,506
E114	II	380	RP(+)	0.62	0.63	0.64	0.65	0.67	0.64	0.63	0.62	0.61	0.63			4.04					10.6	88.2	4.11	15.44	38.04	20,744
E115	V	580	BM Gayco	0.72	0.73	0.75	0.79	0.70	0.77	0.75	0.79	0.78	0.79			3.05					7.1	90.1	4	11.35	45.39	18,187
E116	V	580	CH_Alimak	4.60	4.65	4.59	4.62	4.60	4.65	4.56	4.56	4.57	4.60	PIQUE (2.2X2.2)							7.0	91.0		4.41	275.97	42,978
E117	I	Sup	BM Yana Mina	1.24	1.28	1.18	1.35	1.38	1.23	1.78	1.20	1.30	1.33			1.20					7.8	87.0	1.5	1.67	79.59	4,705
E118	I	Sup	CH-Yana Mina	0.59	0.45	0.61	0.62	0.65	0.60	0.58	0.61	0.62	0.62			1.00					7.8	87.0	1.5	1.50	35.70	1,891
E119	II	630	CH-780-AL	7.55	7.32	7.03	7.58	7.10	7.85	7.02	7.95	7.85	7.715			2.00					7.5	92.2	2.00	3.72	449.79	59,088
E120	III	250-380-580	RB 156, Tajeos NV-580	1.68	1.91	1.97	1.91	1.98	1.91	1.98	1.99	1.82	1.87	RB_156 D=1.5m							15	90		1.77	114.09	7,120
E121	IV	520-Sup.	CH-Jimena	2.12	2.15	2.12	2.10	2.19	2.17	2.12	2.10	2.15	2.13			2.05					9	65	2.50	5.13	128.07	23,179
E122	II	490	XC_910NE	1.77	1.78	1.68	1.82	1.75	1.76	1.79	1.69	1.75	1.79			4.12					7.7	98.7	3.54	13.56	105.45	50,510
E123	II	630	XC_630SW	0.59	0.45	0.55	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.58	0.59			3.22					4.9	85	2.81	8.41	34.08	10,127

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El análisis de los datos obtenidos se realizó de forma cuantitativa y cualitativa, con el objetivo de recomendar las modificaciones necesarias para obtener un diseño, optimización del sistema de ventilación y modelamiento con el software de ventilación; que ofrezca un mejor ajuste para las necesidades de la mina, por lo que se planificarán las etapas de trabajo; la última etapa es la más importante que la mayoría de las empresa no realizan, que consiste ver si las alternativas necesitan algún ajuste durante su implementación. ***(VER ANEXO N° 05)***

- ✓ Diagnostico-análisis
- ✓ Implementación
- ✓ Optimización-Seguimiento

Presentándose los resultados mediante tablas, gráficos de comparación de las acciones que se corrijan con la implementación del diseño y optimización del sistema de ventilación. Se empleará para el procesamiento de datos el microsoft office excel.

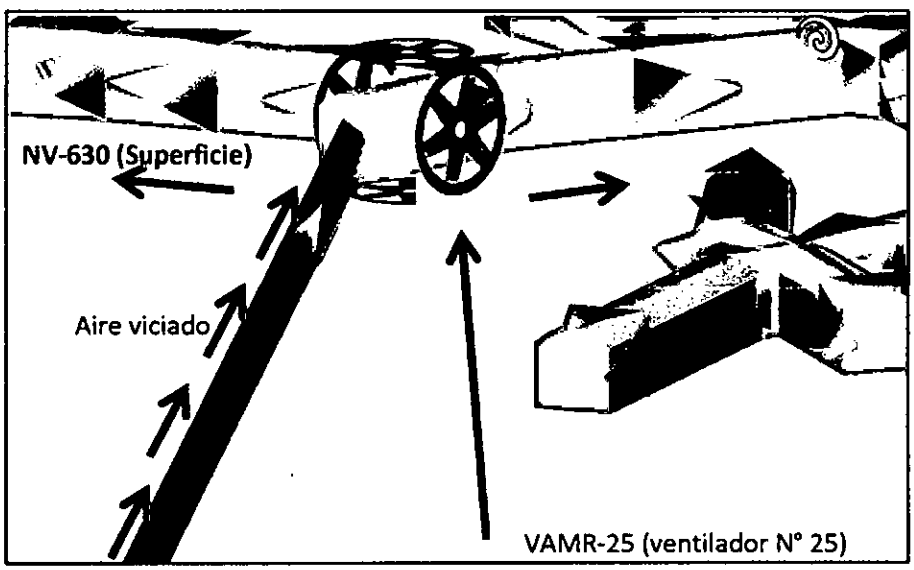
Debido a la gran cantidad de información generada en la simulación no se menciona en detalle la totalidad de los resultados numéricos de la simulación. Se presentan los resultados del balance de aire en las bocaminas, chimeneas principales y niveles que conectan circuitos. Zonas por donde ingresa y sale aire de cada circuito. Adicionalmente en las siguientes tablas, se proponen las estaciones de ventilación, para la medición de flujos de aire, que permiten caracterizar el aire que ingresa y sale de cada circuito de forma general; también los requerimientos, coberturas de aire, análisis de costo de la construcción del raise borer Catuva y los resultados de simulación.

4.2.1. Inventario de Ventiladores.

4.2.1.1. Ventiladores Principales

La mina Raura cuenta con (8) ventiladores principales, según inventario proporcionado por los departamentos de mina y mantenimiento, de la misma manera por nosotros.

Figura N° 33: Ventilador Primario, Ventsim Mina Raura.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Cuadro N° 12: Resumen de ventiladores principales, Mina Raura.

ITEM	CODIGO	NIVEL	LABOR	MODELO	CAUDAL (CFM)	POT. (HP)	VOLTAJE (VOLT)	AMP. LINEAL	POT.EN HP.
1	VAMR-07	520	RB-161	VAV-54-26.5-756-II-B	100,000	200	440	110	98
2	VAMR-25	630	CH-036	VAV.45-26.5-1750-I-B	50,000	125	440	80	71
3	VAMR-09	630	RB-65	VAV-60-26.5-1750-II-A	50,000	125	440	120	106
4	VAMR-08	630	RB-67	VAV-60-26.5-1750-II-A	132,000	200	440	150	133
5	VAMR-38	580	RB-76	VAV-45-25-1750	60,000	100	440	58.5	52
6	VAMR-50	610	RB-152	VAV-45-26.5-1750-II-A	50,000	121	440	75	67
7	VAMR-60	SUP.	RB-106	VAV-48-26.5-1750-II-B	58,000	125	440	59	52
8	NUEVO	630	RB-123	VAV-60-26.5-1785-II-A	120,000	250	440	255	226

Fuente: El investigador.

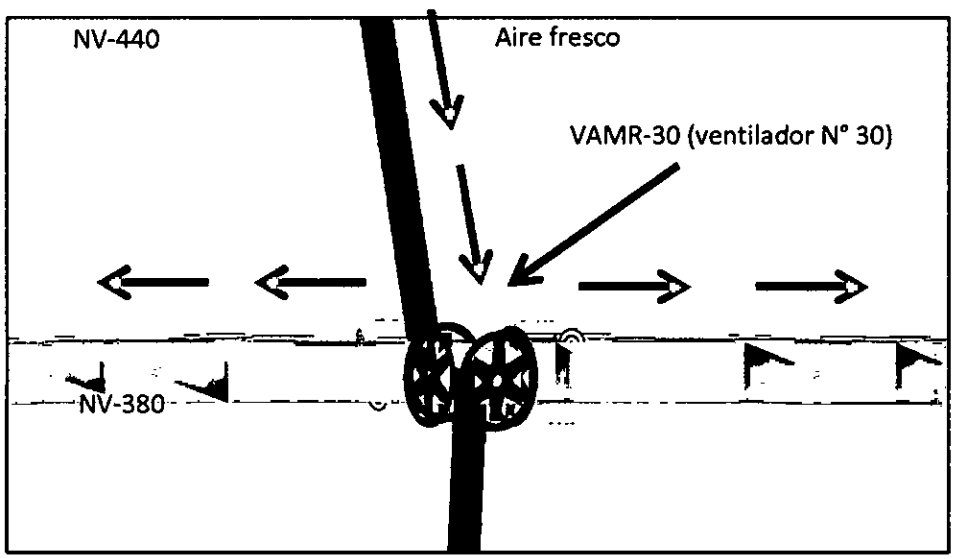
El caudal total nominal (teórico) disponible de los ventiladores principales es de aproximadamente 620,000 CFM. Su caudal se ve afectado por las condiciones reales de operación de la mina

tales como resistencias, pérdidas de choque, obstrucciones, bloqueos e inadecuada ubicación de ventiladores.

4.2.1.2. Ventiladores Secundarios (Booster)

La mina cuenta con (14) secundarios según inventario proporcionado por los departamentos de mina y mantenimiento de Raura.

Figura N° 34: Ventilador Secundario, Mina Raura.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Cuadro N° 13: Resumen de ventiladores secundarios, Mina Raura.

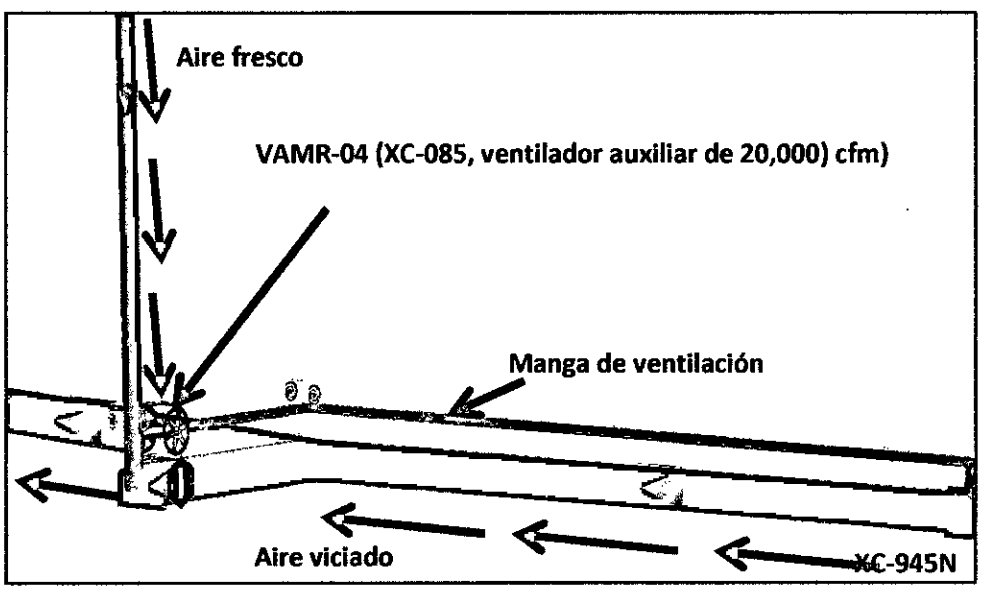
ITEM	CODIGO	NIVEL	LABOR	MODELO	CAUDAL (CFM)	POT. (HP)	VOLT. (V)	POT. (HP)
1	VAMR-01	250	GL-670	VAV-60-26.5-1150	50,000	125	440	91
2	VAMR-20	440	RB-144	VAV-45-25-1785	40,000	100	440	19
3	VAMR-26	300	RB-165	VAV-42-25-1750	58,000	90	440	34
4	VAMR-28	340	RB-380	VAV-45-26.5-1750	50,000	100	440	29
5	VAMR-36	490	GL-612	VAV.-45-25-1785	50,000	150	440	22
6	VAMR-39	490	CX-645	VAV-32-133560	40,000	68	440	36
7	VAMR-40	380	XC-029 E	VAV-32-14-3560	40,000	68	440	36
8	VAMR41	300	CX-489	VAV-31-19.3-3560	30,000	78	440	35
9	VAMR44	300	GL-310	VAV-25-12-3560	20,000	30	440	13
10	VAMR-49	440	RB-146	VAV.45-26.5-1750	50,000	100	440	133
11	VAMR-53	300	Chucshapa	VAV-31-193560	30,000	78.5	440	130
12	VAMR-56	300	Rb-147	VAV-45-25-1750	50,000	150	440	98
13	VAMR-57	S/N	Inoperativa	VAV-89-25-1750	132,000	200	440	
14	VAMR-59	250	RB-143	VAV-45-25-1785	50,000	150	440	

Fuente: El investigador.

4.2.1.3. Ventiladores Auxiliares

La mina cuenta con (35) auxiliares según el inventario. Para efectos de claridad se dan las siguientes definiciones particulares para Raura: Ventilador auxiliar (zonas ciegas): Ventilador que se encarga de mover aire a través de mangas.

Figura N° 35: Ventilador Auxiliar, Mina Raura.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Cuadro N° 14: Resumen de ventiladores auxiliares, Mina Raura.

ITEM	CODIGO	NIVEL	LABOR	MODELO	CAUDAL (CFM)	POT. (HP)
1	VAMR-02	200	RP (+035)	VAV-24-12-3560	18,000	20
2	VAMR-03	490	CH-S/N	VAV-31.10-19.29-3600	30,000	40
3	VAMR-04	540	CX-085	VAV-24.8-17.32-3450	15,000	30
4	VAMR-05	S/N	Lima - Inoperativa	VAV-25.20-11.81-3560	20,000	30
5	VAMR-06	380	GL-545S	VAV-29-25.14-3450-I	20,000	30
6	VAMR-11	300	TJ-612	VAV-25-17.32-3450	15,000	15
7	VAMR-12	380	XC-545N	VAV-26-14.2-3530	20,000	30
8	VAMR-13	200	RP-960	VAV-25-18-3450	15,000	30
9	VAMR-14	200	RP-035	VAV-26-14.2-3530	20,000	30
10	VAMR-15	S/N	Super-Inoperativo	VAV-25-17.32-3450	15,000	15
11	VAMR-16	380	XC-943	VAV-25-18-3450	15,000	30
12	VAMR-17	380	TJ-710	VAV-25.2-12-3560	20,000	30
13	VAMR-18	300	XC-800	VAV_25.2-12-3530	20,000	47
14	VAMR-19	490	CX-645	VAV-25.2-12-3560	20,000	30
15	VAMR-21	200	CX-120	VAV-25-18-3450	15,000	20

16	VAMR-22	S/N	Lima - Inoperativa	VAV-31-19.3-3560	30,000	78
17	VAMR-23	380	BP-288	VAV.26-14-3530	20,000	30
18	VAMR-24	380	CH-340	VAV-25-18-3530	15,000	30
19	VAMR-27	250	GL-670	VAV-31-20-3560	30,000	50
20	VAMR-29	300	XC-800	VAV-31-20-3560	30,000	40
21	VAMR-30	250	GL-650	VAV-31-20-3560	30,000	40
22	VAMR-31	200	CX.120	VAV-26-12-3530	20,000	47
23	VAMR-32	250	GL-650	VAV-26-14.2-3530	20,000	30
24	VAMR-33	490	RP-505	VAV-25-12-3560	20,000	30
25	VAMR34	300	XC-612	VAV-26-12-3530	20,000	47
26	VAMR35	300	BP-970W	VAV.25.2-13-3530	20,000	47
27	VAMR-37	300	XC-800	VAV-25-13-3530	22,000	30
28	VAMR42	S/N	Lima - Inoperativa	VAV-31-19.3-3560	30,000	78
29	VAMR-45	300	XC-130	VAV-21-12-3600	80,00	15
30	VAMR-46	200	RP-960	VAV-31-19-3560	30,000	78
31	VAMR-47	520	TJ-336	VAV-25-11-3560	20,000	30
32	VAMR-48	440	GL-632	VAV-25-12-3530	20,000	30
33	VAMR-51	340	RP-250	VAV-31-20-3560	30,000	78.4
34	VAMR-52	200	BP-840	VAV-31-19-3560	30,000	78.4
35	VAMR-54	200	RP-035	VAV-42-25-1780	40,000	125

Fuente: El investigador.

4.2.2. Requerimiento de aire

4.2.2.1. Circuito I "Margot"

A. Requerimiento de aire para personal

Cuadro N° 15: Para personal

Personal	Cant.	Caudal		
		DS 055, m3/min	m3/min	cfm
SUB-TOTAL	127	6	762	26909
FLOTANTES (5%)	6	6	38	1345
TOTAL	**133**	**6**	**800**	**28,255**

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal en el circuito I es 28,255 cfm, considerando 5% de flotantes.

B. Requerimientos de aire para equipos diesel

Cuadro N° 16: Para equipo diesel

Equipos	Cant. Total	Potencia Equipos				Caudal Requerido		
		HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.	DS 055, m3/m	m3/min, Total	cfm
Scoop 1.5 yd3	2	75	150	0.61	92	3.00	275	9,694
Scoop 3.5 yd3	2	185	370	0.61	226	3.00	677	23,911

Scoop 4.1 yd3	1	220	220	0.61	134	3.00	403	14,217
Jumbo 1-2 Bz.	2	80	160	0.61	98	3.00	293	10,340
Volquete-Volvo	1	440	440	0.61	268	3.00	805	28,435
Dumper 15 TON	1	210	210	0.61	128	3.00	384	13,571
SUB TOTAL	9	1,210	1,550	0.61	946	3	2,837	100,168
FLOTANTES (+5%)	0	61	78	0	47	0	142	5,008
TOTAL (Q2)	9	1,271	1,628	0.61	993	3	2,978	105,177

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en el circuito I es 105,177 cfm, adicionando 5% de flotantes.

C. Requerimiento de aire total

Cuadro N° 17: Requerimiento total

REQUERIDO	m3/min	m3/s	cfm
Q1=Personal	800	23.3	28,255
Q2= Equipos Diesel	2,978	49.6	105,177
Q1 + Q2	**3,778**	**63**	**133,431**

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para el circuito I es 133,431, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

D. Balance de ventilación principal

Cuadro N° 18: Balance

ESTACION		LABOR	CAUDAL		Q (INGRESO) cfm	Q (EGRESO) cfm
Nº	NIVEL		m3/min	Cfm		
E39	Sup.	RB_95	337.28	11,911	11,911	
E40	Sup.	RB-137	409.59	14,464	14,464	
E41	590	RP_738 al (590)	963.99	34,042	34,042	
E42	590	RB-106	1216.38	42,955		42,955
E44	590	BM Hidro	1610.93	56,888	56,888	
E52-1	440	XC_970SE	773.00	27,298		27,298
E54	300	XC_489SE	364.00	12,854		12,854
E117	Sup.	BM Yana Mina	133.23	4,705	4,705	
E118	Sup.	CH Yana Mina	53.55	1,891	1,891	
E122	490	XC 255W	1430.31	50,510		50,510
E123	630	XC_630SW	286.78	10,127	10,127	
				Total	**134,029**	**133,617**

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa al circuito I y sale de la misma, para calcular la cobertura de aire.

E. Cobertura de aire actual

Cuadro N° 19: Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	cfm
Qi= Caudal Ingreso	3,795	63.3	134,029
Qs= Caudal de Salida	3,784	63.1	133,617
Qr= Caudal Requerido	3,778	63.0	133,431
COBERTURA ACTUAL (%)	**100**		

Fuente: El investigador.

La cobertura total del circuito I es de 100%, está cubriendo todo el requerimiento de aire.

4.2.2.2. Circuito II "Catuva"

A. Requerimiento de aire para personal

Cuadro N° 20: Para personal

Personal	Cant.	Caudal		
		DS 055, m3/min	m3/min	cfm
SUB-TOTAL	94	6	564	19,917
FLOTANTES (5%)	5	6	28.2	996
TOTAL DE PERSONAS **Q1**	**99**	**6**	**592**	**20,913**

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal en el circuito II es 20,913 cfm, considerando 5% de flotantes.

B. Requerimiento de aire para equipos diesel

Cuadro N° 21: Para equipo diesel

Equipos	Cant. Total	Potencia Equipos				Caudal Requerido		
		HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.	DS 055, m3/m	m3/min, Total	cfm
Scoop 2.2 yd3	3	117	351	0.61	214.11	3	642.33	22683
Scoop 4.1 yd3	3	220	660	0.61	402.60	3	1207.80	42652
Scoop 6 yd3	1	280	280	0.61	170.80	3	512.40	18095
Jumbo 1-2 Bz.	4	80	320	0.61	195.20	3	585.60	20680
Camioncito	5	105	525	0.61	320.25	3	960.75	33928
Camioneta	9	75	675	0.61	411.75	3	1235.25	43622

Volquete-Volvo	13	440	5720	0.61	3489.20	3	10467.60	369653
Mini excavador	1	75	75	0.61	45.75	3	137.25	4847
Motoniveladora	1	161	161	0.61	98.21	3	294.63	10405
Tractor D4	1	200	200	0.61	122.00	3	366.00	12925
SUB TOTAL	41	1753	8967	0.61	5470	3	16410	579489
FLOTANT. (+5%)	2	88	448	0.61	273.49	3	820.48	28974
TOTAL Q2	43	1,841	9,415	0.61	5,743	3	17,230	608,463

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en el circuito II es 608,463 cfm, adicionando 5% de flotantes.

C. Requerimiento de Aire Total

Cuadro N° 22. Total

CAUDAL TOTAL			
REQUERIDO	**m3/min**	**m3/s**	**Cfm**
Q1=Personal	592	9.9	20,913
Q2= Equipos Diesel	17,230	255.7	608,463
Q1 + Q2	**17,822**	**266**	**629,376**

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para el circuito II es 629,376, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

D. Balance de Ventilación Principal

Cuadro N° 23: Balance

ESTACION		LABOR	CAUDAL		Q (INGRESO) cfm	Q (EGRESO) cfm
Nº	NIVEL		m3/min	Cfm		
E17	300	BM Shucshapa	1,342.03	47,393	47,393	
E46+61	490-630	RB-123	1,424.56	50,307		50,307
E47	490-630	RB-65	1,462.82	51,656		51,656
E48	490	RB-67	1,430.31	50,510		50,510
E54	300	XC-489SE	364.00	12,854	12,854	
E60	630	BM Catuva	3,382.04	119,433	119,433	
E62	502-630	CH-036	2,400.28	84,764		84,764
E97	380	XC-890-SE	691.00	24.402	24.402	
E102	300	XC-035NW	1291.29	45,601	45,601	
E106	630	BM Ada	829.68	29,299	29,299	
E107	630	BM Santa Ana	471.59	16,654	16,654	
E119	200-630	CH-780	1,673.22	59,088		59,088

E122	490	XC_910NE	1,430.31	50,510	50,510	
E123	630	XC-630SW	286.78	10,127		10,127
				Total	**346,146**	**306,454**

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa al circuito II y sale de la misma, para calcular la cobertura de aire.

E. Cobertura de Aire Actual

Cuadro N° 24: Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	cfm
Qi= Caudal Ingreso	9,802	163.4	346,146
Qs= Caudal de Salida	8,678	144.6	306,454
Qr= Caudal Requerido	17,822	297	629,376
COBERTURA ACTUAL (%)		**55**	

Fuente: El investigador.

La cobertura total del circuito II es de 55%, existe déficit de 283,230 cfm para cubrir el requerimiento de aire.

4.2.2.3. Circuito III "Flor de loto – Esperanza"

A. Requerimiento de aire para personal

Cuadro N° 25: Para personal

Personal	Cant.	CAUDAL		
		DS 055, m3/min	m3/min	Cfm
SUB-TOTAL	128	6	768	27,121
FLOTANTES (5%)	6	6	38.4	1356
TOTAL DE PERSONAS (Q1)	**134**	**6**	**806**	**28,477**

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal en el circuito III es 28,477 cfm, considerando 5% de flotantes.

B. Requerimiento de aire para equipos diesel

Cuadro N° 26: Para equipo diesel

Equipos	Cant.	Potencia Equipos				Caudal Requerido		
		HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.	DS 055, m3/m	m3/min, Total	cfm
Scoop 1.5 yd3	1	75	75.00	0.61	45.75	3.00	137.25	4847
Scoop 6 yd3	1	280	280.00	0.61	170.80	3.00	512.40	18095
Jumbo 1-2 Bz.	2	80	160.00	0.61	97.60	3.00	292.80	10340
Camioncito	2	105	210.00	0.61	128.10	3.00	384.30	13571
Camioneta	3	75	225.00	0.61	137.25	3.00	411.75	14541

Volquete-volvo	5	440	2200.00	0.61	1342.00	3.00	4026.00	142174
SUB TOTAL	14	1055	3,150	0.61	1922	3	5,765	203568
FLOT. (+5%)	1	53	158	0	96	0	288	10178
TOTAL (Q2)	15	1108	3,308	0.61	2018	3	6,053	213,746

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en el circuito III es 213,746 cfm, adicionando 5% de flotantes.

C. Requerimiento de aire total

Cuadro N° 27: Requerimiento total

CAUDAL TOTAL			
REQUERIDO	m3/min	m3/s	cfm
Q1=Personal	806	13.4	28,477
Q2= Equipos Diesel	6,053	100.9	213,746
Q1 + Q2	**6,859**	**114**	**242,223**

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para el circuito III es 242,223, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

D. Balance de ventilación principal

Cuadro N° 28: Balance

ESTACIÓN		LABOR	CAUDAL		Q (INGRESO) cfm	Q (EGRESO) cfm
Nº	NIVEL		m3/min	Cfm		
E1	380	XC-770SW-Tinquic.	1608.62	56,807	56,807	
E8-1	250-Sup.	CH-670	1522.75	53,774		53,774
E30	630	BM Esperanza	3119	110,144	110,144	
E32	630	BM Gayco N	428	15,110	15,110	
E33	630	BM Gayco S	587.871	20,760	20,760	
E88	380-Sup.	RB-76	557.063	19,672		19,672
E90			693.53	24,491		24,491
E97	380	XC-890-SE	691.00	24,402		24,402
E102	300	XC-035	1291	45,590		45,601
E120	250-580	RB-156	201.614	7,120		7,120
				Total	202,821	175,060

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa al circuito III y sale de la misma, para calcular la cobertura de aire.

E. Cobertura de aire actual

Cuadro N° 29: Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	cfm
Qi= Caudal Ingreso	5,743	95.7	202,821
Qs= Caudal de Salida	5,465	91.1	175,060
Qr= Caudal Requerido	6,859	114.3	242,223
COBERTURA ACTUAL (%)	**84**		

Fuente: El investigador.

La cobertura total del circuito III es de 84%, existe déficit de 39,402 cfm para cubrir el requerimiento de aire.

4.2.2.4. Circuito IV "Yanco - Abra"

A. Requerimiento de aire para personal

Cuadro N° 30: Para personal

Personal	Cant.	CAUDAL		
		DS 055, m3/min	m3/min	cfm
SUB-TOTAL	21	6	126	4,450
FLOTANTES (10%)	1	6	6.3	222
TOTAL DE PERSONAS (Q1)	**22**	**6**	**132**	**4,672**

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal en el circuito IV es 4,672 cfm, considerando 5% de flotantes.

B. Requerimiento de aire para equipos diesel

Cuadro N° 31: Para equipo diesel

Equipos	Cant.	Potencia Equipos				Caudal Requerido		
		HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.	DS 055, m3/m	m3/min , Total	cfm
Scoop 2.2 yd3	1	117	117	0.61	71	3	214.11	7,561
Scoop 3.5 yd3	1	185	185	0.61	113	3	338.55	11,956
Scoop 6 yd3	1	280	280	0.61	171	3	512.40	18,095
Jumbo 1-2 Bz.	1	80	80	0.61	49	3	146.40	5,170
Camioncito	1	105	105	0.61	64	3	192.15	6,786
Volquete-volvo	1	440	440	0.61	268	3	805.20	28,435

SUB TOTAL	6	1,207	1,207	0.61	736	3	2208.81	78,002
FLOTANTES (+5%)	0	60	60	0.61	37	3	110.44	3,900
TOTAL (Q2)	6	1267	1,267	0.61	773	3	2319.25	81,902

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en el circuito IV es 81,902 cfm, adicionando 5% de flotantes.

C. Requerimiento de aire total

Cuadro N° 32: Total

CAUDAL TOTAL			
REQUERIDO	m3/min	m3/s	cfm
Q1=Personal	132	2.2	4,672
Q2= Equipos Diesel	2,319	38.7	81,902
Q1 + Q2	**2,452**	**40.9**	**86,574**

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para el circuito IV es 86,574, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

D. Balance de ventilación principal

Cuadro N° 33: Balance

ESTACION		LABOR	CAUDAL		Q (INGRESO) cfm	Q (EGRESO) cfm
Nº	NIVEL		m3/min	cfm		
E34	660	BM Abra	135	4,753	4,753	
E35	660	CH-305	118	4,165	4,165	
E37	520	RB-152	1354	47,811		47,811
E38	520	BM Yanco	623	22,005	22,005	
E121	520	CH-Jimena	656	23,179	23,179	
				Total	**54,103**	**47,811**
				Balance	**6,292**	

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa al circuito IV y sale de la misma, para calcular la cobertura de aire.

E. Cobertura de aire actual

Cuadro N° 34. Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	cfm
Qi= Caudal Ingreso	1,532	25.5	54,103
Qs= Caudal de Salida	1,354	22.6	47,811
Qr= Caudal Requerido	2,452	40.9	86,574
COBERTURA (%)	62		

Fuente: El investigador.

La cobertura total del circuito IV es de 62%, existe déficit de 32,471 cfm para cubrir el requerimiento de aire.

4.2.2.5. Circuito V "Gayco"

A. Requerimiento de aire para personal

Cuadro N° 35: Para personal

Q1=PERSONAS	PERSONAS	CAUDAL		
	Cant.	DS 055, m3/min	m3/min	cfm
SUB-TOTAL	12	6	72	2,543
FLOTANTES (10%)	1	6	3.6	127
TOTAL DE PERSONAS (Q1)	13	6	76	2,670

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal en el circuito V es 2,670 cfm, considerando 5% de flotantes.

B. Requerimiento de aire para equipos diesel

Cuadro N° 36: Para equipo diesel

Equipos	Cant. Total	Potencia Equipos				Caudal Requerido		
		HP Nom.	HP Total	FC Altura	HP Desar.	DS 055, m3/m	m3/min , Total	cfm
Scoop 2.2 yd3	1	117	117	0.61	71.37	3	214.11	7561
Scoop 4.1 yd3	1	220	220	0.61	134.20	3	402.60	14217
Jumbo 1-2 Bz	1	80	80	0.61	48.80	3	146.40	5,170
Camioncito	1	105	105	0.61	64.05	3	192.15	6,786
Camioneta	1	75	75	0.61	45.75	3	137.25	4,847
Volquete	2	440	880	0.61	536.80	3	1610.40	56,870
Dumper 15 Ton	1	210	210	0.61	128.10	3	384.30	13,571
SUB TOTAL	8	1,247	1,687	0.61	1,029	3	3,087	109,022
FLOTANTES (+5%)	0	62	84	0.61	51	3	154	5,451
TOTAL (Q2)	8	1,309	1,771	0.61	1,081	3	3,242	114,473

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en el circuito V es 114,473 cfm, adicionando 5% de flotantes.

C. Requerimiento de aire total

Cuadro N° 37: Requerimiento total

CAUDAL TOTAL			
REQUERIDO	m3/min	m3/s	cfm
Q1=Personal	76	1.3	2,670
Q2= Equipos Diesel	3,342	54	114,473
Q1 + Q2	3,317	55.3	117,143

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para el circuito V es 117,143, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

D. Balance de ventilación principal

Cuadro N° 38: Balance

ESTACION		LABOR	CAUDAL		Q (INGRESO) Cfm	Q (EGRESO) cfm
Nº	NIVEL		m3/min	cfm		
E12	300	XC_800W	778.59	27495	27495	
E16	300	RB-161	2,523.21	89105		89105
E115	580	BM Yana Mina	514.99	18187	18187	
E116	Sup.	CH- Yana Mina	1,217.03	42978	42978	
				Total	88,660	89,105
				Balance	-445	

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa al circuito V y sale de la misma, para calcular la cobertura de aire.

E. Cobertura de aire actual

Cuadro N° 39: Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	Cfm
Qi= Caudal Ingreso	2,511	41.8	88,660
Qs= Caudal de Salida	2,523	42.1	89,105
Balance	-13	-0.2	-445
Qr= Caudal Requerido	3,317	55.3	117,143
COBERTURA (%)	76		

Fuente: El investigador.

La cobertura total del circuito V es de 76%, existe déficit de 28,483 cfm para cubrir el requerimiento de aire.

4.2.2.6. Circuito Global

A. Requerimiento de aire para personal

En las siguientes tablas se indican un resumen de los 5 circuitos que vienen a ser toda la mina (global).

Cuadro N° 40: Requerimiento para personal

CIRCUITO	CANT.	DS 055, m3/min	Caudal m3/min	Caudal cfm
I	133	6	800	28,255
II	99	6	592	20,913
III	134	6	806	28,477
IV	22	6	132	4,672
V	13	6	76	2,670
TOTAL	**401**		**2,407**	**84,987**

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para el personal que se encuentra en toda la mina es 84,987 cfm.

B. Requerimientos de aire para equipos diesel

Cuadro N° 41: Requerimiento para equipo diesel

CIRCUITO	CANT.	Pot. HP	Req. m3/min	Caudal m3/min	Caudal Cfm
I	9	993	3	2,978	105,177
II	43	5,743	3	17,230	608,463
III	15	2,019	3	6,053	213,746
IV	6	773	3	2,319	81,902
V	8	1,081	3	3,242	114,473
TOTAL	82	10,607	3	31,822	1,123,761

Fuente: El investigador.

El requerimiento de aire para equipo diesel, que están expuestos en todo el circuito es 1, 123,761 cfm.

C. Requerimiento de aire para dilución de explosivos

Cuadro N° 42: Requerimiento para explosivo

Q3 = EXPLOSIVOS	Área (m2)	Veloc. m/min	Nro. Niveles	m3/s	m3/min	cfm
Dilución Explosivos	14.88	25	10	62.0	3,720	131,368
Q3 = EXPLOSIVOS	Constante	Kg (explosivo)	Tiempo (min)	m3/s	m3/min	cfm

En Función a KG y Tiempo	500	1550	30	430.56	25,833	912,278

Fuente: El investigador.

D. Requerimiento de aire total

Cuadro N° 43: Requerimiento

REQUERIDO	m3/min	m3/s	cfm
Q1=Personal	2,407	40	84,987
Q2= Equipos Diesel	31,822	530	1,123,761
Q3=Dilución Explosivos	3,720	62	131,368
Q1 + Q2	**34,229**	**570**	**1,208,747**

Fuente: El investigador.

El requerimiento total de aire para toda la mina es 1, 208,747, en este ítem no se considera requerimiento para dilución de explosivos porque esta actividad se realiza fin de guardia cuando el personal ya se encuentra en superficie.

E. Aforos (Balance de ventilación principal)

Cuadro N° 44: Aforos

ESTAC.	AREA	Vel. Prom.	Caudal		Ingreso	Salida
	m2	m/min	m3/min	cfm	cfm	cfm
E1	10.73	149.94	1,609	56,807	56,807	
E8-1	14.98	101.64	1,523	53,774		53,774
E16	14.82	170.28	2,523	89,105		89,105
E17	8.74	153.57	1,342	47,393	47,393	
E30	13.29	234.60	3,119	110,144	110,144	
E32	7.23	59.16	428	15,110	15,110	
E33	9.21	63.84	588	20,760	20,760	
E34	7.21	18.66	135	4,753	4,753	
E35	7.77	15.18	118	4,165	4,165	
E37	13.41	100.96	1,354	47,811		47,811
E38	13.52	46.08	623	22,005	22,005	
E39	1.77	190.86	337	11,911	11,911	
E40	1.77	231.78	410	14,464	14,464	
E41	5.50	175.14	964	34,042	34,042	
E42	4.86	250.47	1,216	42,955		42,955
E44	5.50	293.04	1,611	56,888	56,888	
E47	9.25	158.22	1,463	51,658		51,658
E48	13.56	105.45	1,430	50,510		50,510
E60	23.72	142.59	3,382	119,433	119,433	
E46+61	21.55	66.12	1,425	50,307		50,307
E62	5.20	461.94	2,400	84,764		84,764
E88	7.61	73.23	557	19,672		19,672
E90	7.42	93.45	694	24,491		24,491
E106	16.57	50.07	830	29,299	29,299	
E107	7.06	66.81	472	16,654	16,654	
E115	11.35	45.39	515	18,187	18,187	
E116	4.41	275.97	1,217	42,978	42,978	

E117	1.67	79.59	133	4,705	4,705	
E118	1.50	35.70	54	1,891	1,891	
E119	3.72	449.79	1,673	59,088		59,088
E120	1.77	114.09	202	7.120		7.120
E121	5.13	128.07	656	23,179	23,179	
			TOTAL		654,769	581,254
			Déficit		73,515	

Fuente: El investigador.

En el cuadro anterior se realiza el balance de caudal de aire que ingresa a la mina y sale de la misma (aforos principales), para calcular la cobertura de aire.

F. Cobertura de aire actual

Cuadro N° 45: Cobertura

COBERTURA DE AIRE	m3/min	m3/s	Cfm
Qi= Caudal Ingreso	18,541	309.0	654,769
Qs= Caudal de Salida	16,460	274.3	581,254
Qr= Caudal Requerido	34,229	570.5	1,208,747
COBERTURA (%)	54		

Fuente: El investigador.

- El caudal total que ingresa a mina es de 654,769 cfm, para los 5 circuitos en estudio.
- La cobertura total integrando todos los circuitos es del 54 %. un déficit de 553,978 cfm para cubrir el requerimiento de aire total.

4.2.3. Propuesta de redistribución de circuitos

Aprovechando la distribución de la mina y la agrupación de diferentes bloques de producción, el equipo de ventilación de la mina ha propuesto inicialmente cuatro (04) circuitos de ventilación.

Después de las simulaciones y cálculos de requerimiento de aire por circuitos se encontró que Gayco debe ser un circuito independiente por su lejanía con el circuito conformado por Esperanza y Flor de Loto.

En total se tiene 5 Circuitos conformado por distintas zonas vetas, como se indica a continuación.

De esta manera la mina queda redistribuida en los siguientes circuitos luego de tantas simulaciones con informe de humo (fumarola-aire fresca y contaminada):

Circuito I: MARGOT-FARALLÓN

(Vetas: Lead Hill, Hadas, Brunilda, Margot, Farallón, Santa Rosa).

Circuito II: CATUVA

(Vetas: primavera, Catuva, Niño perdido, Ofelia, Balillas, Ragazza, Halley, Betsheva).

Circuito III: FLOR DE LOTO-ESPERANZA

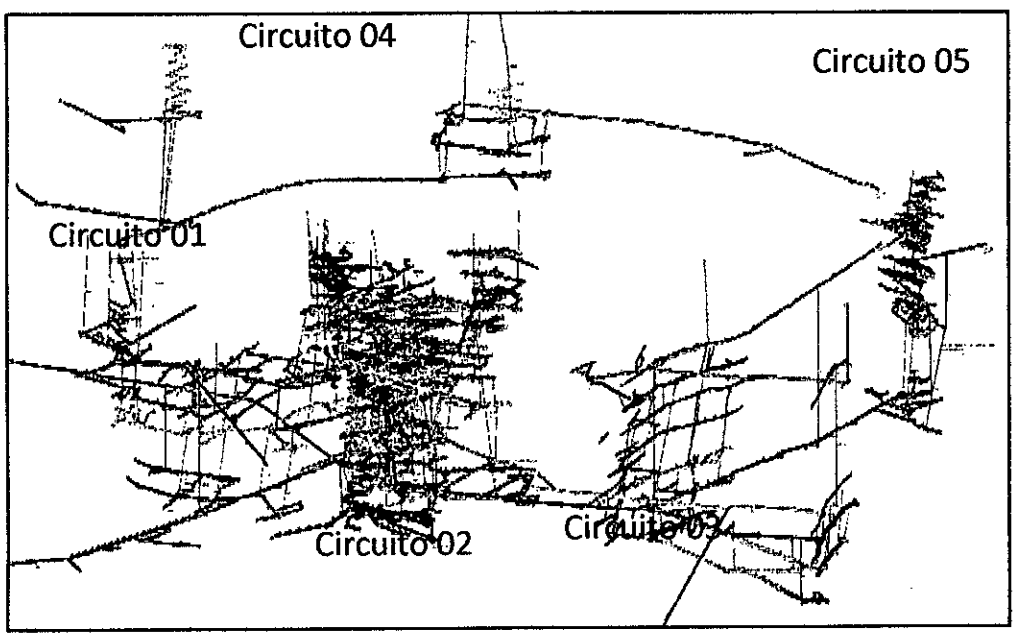
(Vetas: Flor de Loto, Esperanza, Nancy, Torre de Cristal, Susan, Gayco).

Circuito IV: ABRA-YANCO

(Vetas: Fortuna, Delfercha, Blanquita, Eliana, Jimena).

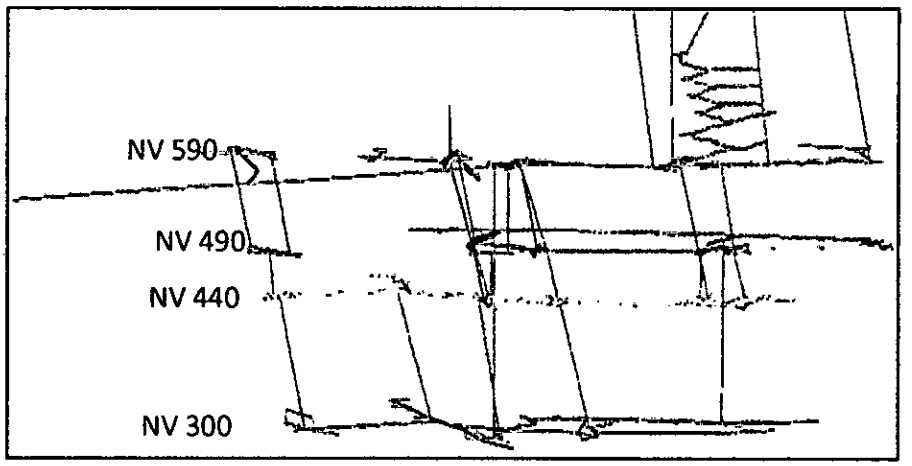
Circuito V: GAYCO. (Veta: Gayco)

Figura N° 36. Vista 3D en Ventsim.



Fuente: El investigador-Programa Ventsim

Figura N° 37: Modelo 3D Ventsim. Circuito Margot- CIRCUITO I



Fuente: El investigador.

Figura N° 38: Modelo 3D Ventsim. Circuito Catuva - CIRCUITO II

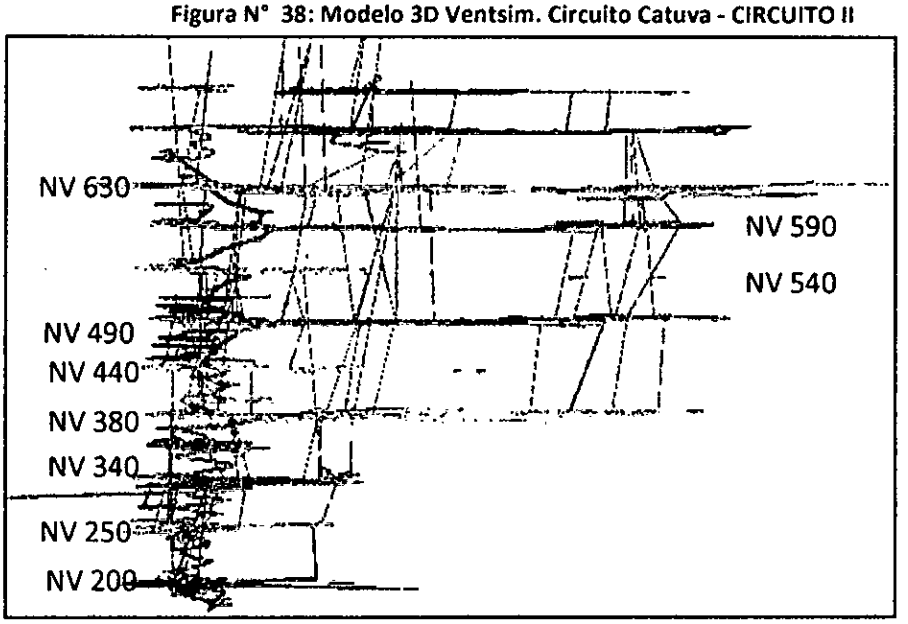
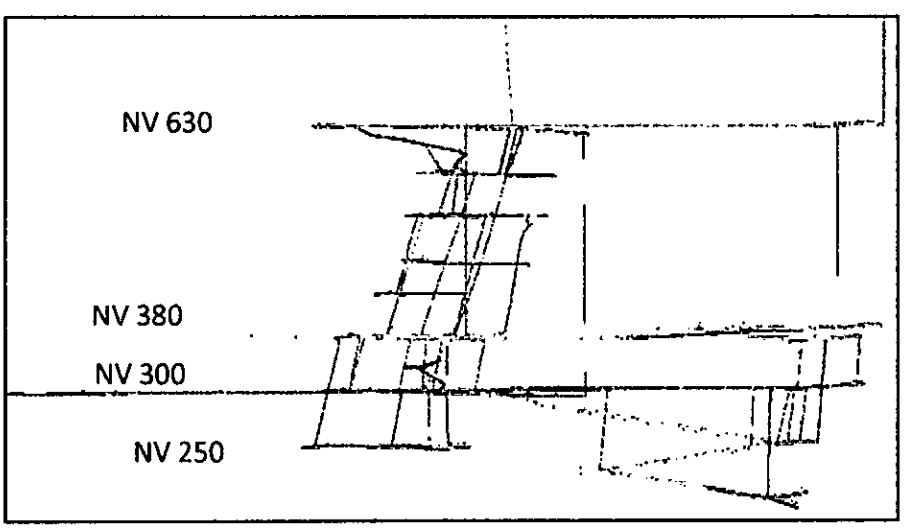
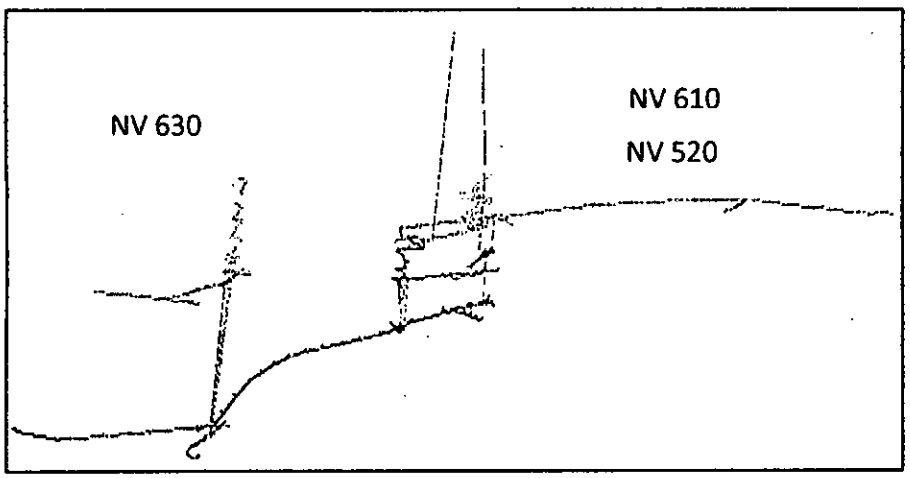


Figura N° 39: Modelo 3D Ventsim. Circuito Esperanza-Flor de Loto -CIRCUITO III



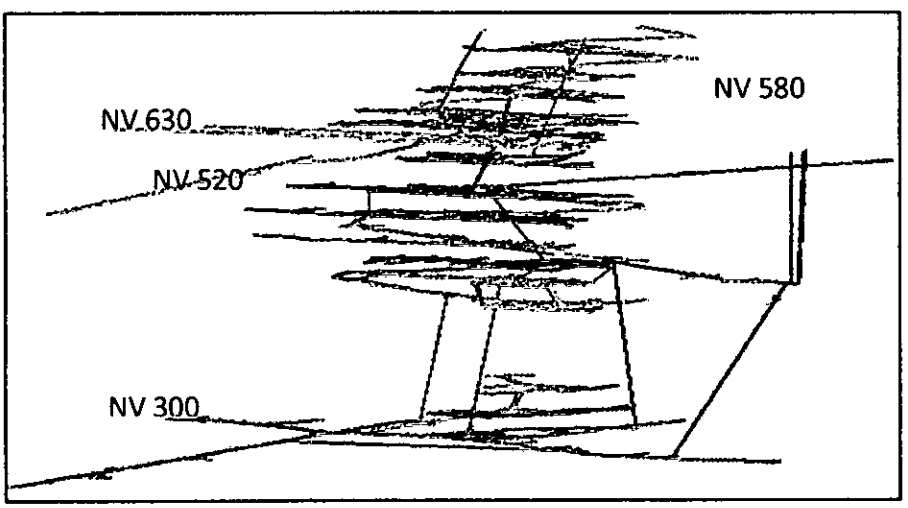
Fuente: El investigador.

Figura N° 40: Modelo 3D Ventsim. Circuito Yanco-Abra - CIRCUITO IV



Fuente: El investigador.

Figura N° 41: Modelo 3D Ventsim. Circuito Gayco -CIRCUITO V



Fuente: El investigador.

4.2.4. Construcción del RB Catuva

4.2.4.1. Análisis de costo energía del raise borer propuesto

Simulación con extracción de caudal 240,000 cfm desde el Nv-200:

Cuadro N° 46: Análisis de costo

CIRCUITO	Caudal	Diam.	PT	PD	PS=PT-PD	CAUDAL	Pot.	COST. ANUAL
	cfm		(Pa)	(Pa)	(Pa)	(m3/s)	(Kw)	ENERGIA US$
CIRC. A (COTA 4200)	240k		6,606.4	8.76	6,597.6	46.8	309.18	140,837
CIRC. B (COTA 4200)			6,579.6	17.57	6,562.0	66.5	437.54	199,310

TOTAL			**13,186**			**113.3**		**340,147**
CIRC. C (RB-propuesto)	240k	7 Pies	11,369	50.26	11,318.9	113.3	1,288.13	**586,769**
CIRC. C (RB-propuesto)		10 Pies	2,283.6	50.26	2,233.3	113.3	258.72	117,858
CIRC. C (RB-propuesto)		12 Pies	1,148.8	50.26	1,098.5	113.3	130.16	59,290
CIRC. C (RB-propuesto)		14 Pies	729.6	50.26	679.3	113.3	82.66	37,655
CIRC. C (RB-propuesto)		18 Pies	463.6	50.26	413.3	113.3	52.53	23,927
CIRC. C (RB-propuesto)		20 Pies	418.7	50.26	368.4	113.3	47.44	21,609

Fuente: El investigador.

Cuadro N° 47: Análisis de costo, para un caudal de 360,000 cfm.

CIRCUITO	Caudal	Diam.	PT	PD	PS=PT-PD	CAUDAL	Pot.	COST. ANUAL
	cfm		(Pa)	(Pa)	(Pa)	(m3/s)	(Kw)	DE ENERGIA
CIRC. A (COTA 4200)	360k		13,791	21.38	13,769.6	73.8	1,017.78	463,617
CIRC. B (COTA 4200)			13.696	36.50	13.659.0	96.1	1.316.14	599.527
TOTAL			**27,487**			**169.9**		**1,063,144**
CIRC. C(RB-propuesto)	360k	7 Pies	25,603	113.73	25,489.0	169.9	4,349.90	1,981,466
CIRC. C (RB-propuesto)		10 Pies	51,41.5	113.73	5,027.8	169.9	873.54	397,915
CIRC. C (RB-propuesto)		12 Pies	2,586	113.73	2,472.3	169.9	439.36	200,138
CIRC. C (RB-propuesto)		14 Pies	1,641.9	113.73	1,528.2	169.9	278.96	127,071

Fuente: El investigador.

Para RB con diámetro de 7 pies. El costo anual de circuito actual C, sería:

- ✓ US$ 586,769 para extraer 240,000 cfm y US$ 1´981,466 para extraer 360,000 cfm, del NV-200.
- ✓ Para un RB de diámetro de 10 pies, el costo actual, sería de US$ 117,858 por año para extraer un caudal de 240,000 cfm.
- ✓ Para un RB de 14 pies, el costo anual de circuito sería de US$ 37,655 para un caudal de 240k cfm y US$ 127,071 extraer 360k cfm.

4.2.4.2. Análisis financiero del raise borer propuesto

Se muestran en el siguiente análisis, los resultados de la simulación para diferentes diámetros con sus respectivos costos

de minado y costos del consumo energéticos, para un periodo de vida de 5 años.

El Ventsim realiza iteraciones con los diferentes diámetros y nos muestra un diámetro más óptimo, considerando caudales de 400,000 cfm y 600,000 cfm respectivamente. Para calcular el diámetro óptimo se realiza en base al costo total.

Cuadro N° 48: Para un caudal de 400, 000 cfm

Tamaño	Tipo de Pared	Diam. (m)	Costos Fijos (US$)	Costo/m (US$)	Costo de Minado (US$)	Costo anual de Ventilación (US$)	Costo del Ventilador (US$)
RB 1.8	Cond. De Vent. Rimado	1.80	68,000	1,200	805,713	1,772,083	3,890,243
RB 2.4	Cond. De Vent. Rimado	2.40	74,010	2,000	1,303,532	420,524	923,172
RB 3.0	Cond. De Vent. Rimado	3.00	80,020	2,500	1,616,922	137,339	301,499
RB 3.6	Cond. De Vent. Rimado	3.60	86,030	2,800	1,807,360	55,147	121,065
RB 4.2	Cond. De Vent. Rimado	4.20	92,040	3,200	2,059,274	25,500	55,979
RB 4.8	Cond. De Vent. Rimado	4.80	98.050	4.000	2.557.093	13.073	28.699
RB 5.4	Cond. De Vent. Rimado	5.40	154,060	4,400	2,859,007	7,252	15,921
RB 6.0	Cond. De Vent. Rimado	6.00	160,070	5,000	3,233,874	4,281	9,398

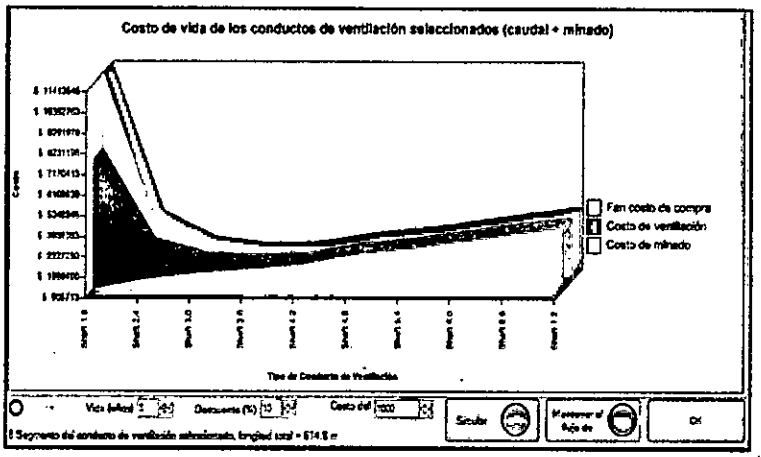
Fuente: El investigador.

Cuadro N° 49: Para un caudal de 600,000 cfm

Tamaño	Tipo de Pared	Diam. (m)	Costos Fijos (US$)	Costo/m (US$)	Costo de Minado (US$)	Costo anual de Ventilación (US$)	Costo del Ventilador (US$)
RB 1.8	Cond. De Vent. Rimado	1.80	68,000	1,200	805,713	5,976,331	13,119,800
RB 2.4	Cond. De Vent. Rimado	2.40	74,010	2,000	1,303,532	1,418,211	3,113,388
RB 3.0	Cond. De Vent. Rimado	3.00	80,020	2,500	1,616,922	463,173	1,016,801
RB 3.6	Cond. De Vent. Rimado	3.60	86,030	2,800	1,807,360	185,984	408,290
RB 4.2	Cond. De Vent. Rimado	4.20	92,040	3,200	2,059,274	85,997	188,789
RB 4.8	Cond. De Vent. Rimado	4.80	98,050	4,000	2,557,093	44,089	96,788
RB 5.4	Cond. De Vent. Rimado	5.40	154,060	4,400	2,859,007	24,458	53,692
RB 6.0	Cond. De Vent. Rimado	6.00	160,070	5,000	3,233,874	14,438	31,696

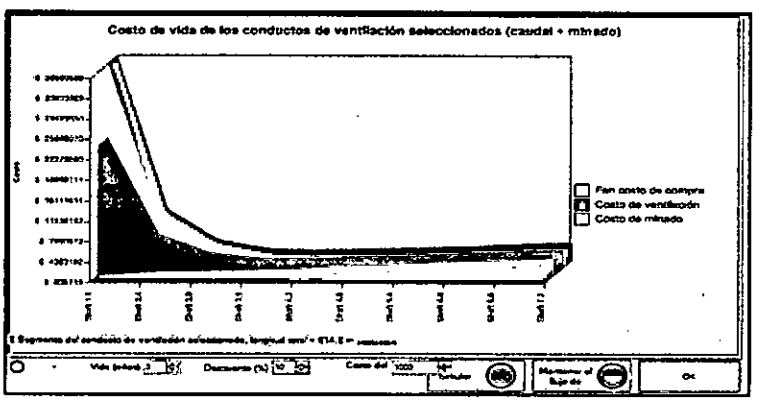
Fuente: El investigador.

Figura N° 42: Costo Financiero (400,000 cfm)



Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 43: Costo financiero (600k) cfm



Fuente: El investigador-Ventsim.

Vemos en la gráfica generado por el programa Ventsim una tendencia de diámetro optimo en un rango de 3.6m hasta 4.20m, por ende a simple análisis se puede concluir que en ventilación a mayor diámetro del raise borer es mejor, teniendo cuidado con el costo de capital y operación.

A continuación se calcula el diámetro óptimo con formulismo obteniendo resultados similares.

$$Diamt.Opt. = \sqrt[7]{(17.236 * K * Q^3 * Ce * d)/(n * Cd * Cf)}$$

Reemplazando en la ecuación (1) se obtiene.

Para un caudal de 400,000 cfm:

Diámetro = 3.30 m <> 3.50 m

Para un caudal de 600,000 cfm:

Diámetro = 3.90 m <> 4.00 m

4.2.5. Alternativas del sistema de ventilación Propuesto

El modelo se encuentra calibrado, lo que nos permite por medio de simulaciones hacer estimaciones de los cambios generados en el sistema con diferentes alternativas. A continuación se describen las alternativas a simular con sus respectivos resultados que se indicaran en el capítulo siguiente de simulación, los cuales nos permiten comparar el estado inicial y final permitiendo tomar decisiones para mejorar y optimizar el circuito de ventilación.

4.2.5.1. Alternativa 01

A. Plan de trabajo.

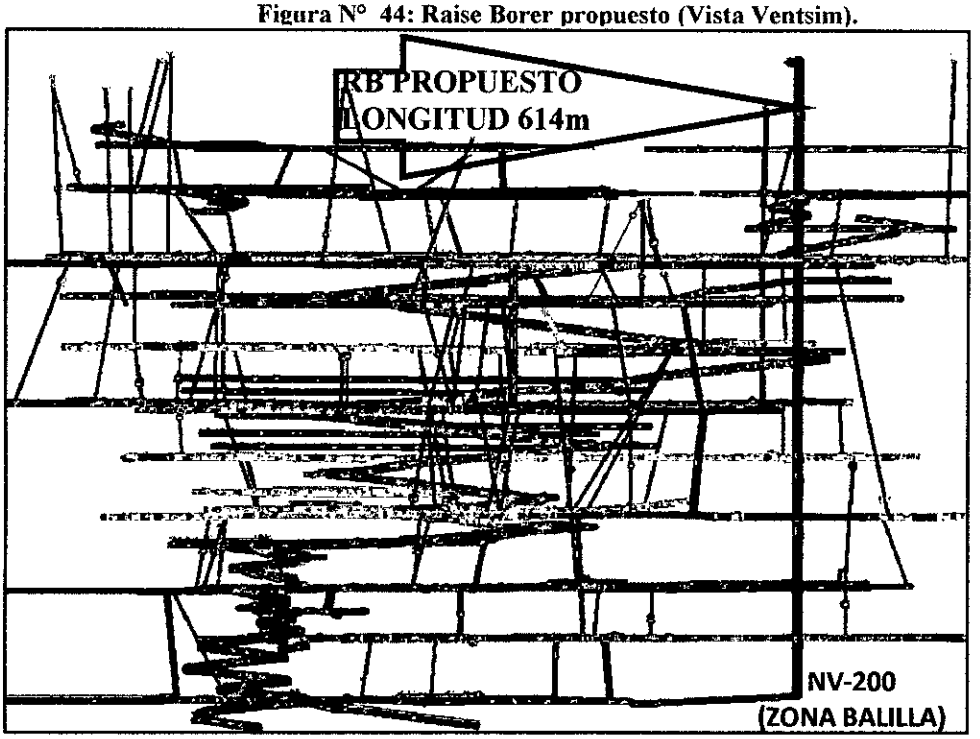
- ✓ Construir un RB desde superficie al Nv-200 Zona de Balilla, con diámetro de **3.50 metros** y una longitud de 614 m aproximado.
- ✓ Instalar un Ventilador Extractor Tipo: VAV-84-43-1150-II-B 65° con cono de 400,000 cfm con presión total de 12" CA a condición estándar, en el RB propuesto.
- ✓ Construir Cruceros en los niveles: Nv-200 Zona Balilla, Nv-250 (By Pass 840-1), Nv-300 (GL-805) y Nv-440 (XC-810N) todos ellos hasta la proyección del RB propuesto (Ver figura N° 09).
- ✓ Regular el caudal de egreso (400,000 cfm) al 5% en el Nv-440, 15% en el Nv-300, 20% en el Nv-250 y 60% en el Nv-200.

Esta configuración se presenta después de varias simulaciones en detalle.

B. Distribución del RB de simulación alternativa 01

La siguiente ilustración muestra la distribución del RB propuesto para la extracción de los gases nocivos en la profundización del sistema. Esta alternativa se propone con la intención de buscar una mayor extracción de aire en la profundización, y teniendo en cuenta que esta zona cuenta con reservas económicas probadas y probables, orientadas todas en conjunto inclusive debajo del NV-200 del yacimiento.

Figura N° 44: Raise Borer propuesto (Vista Ventsim).

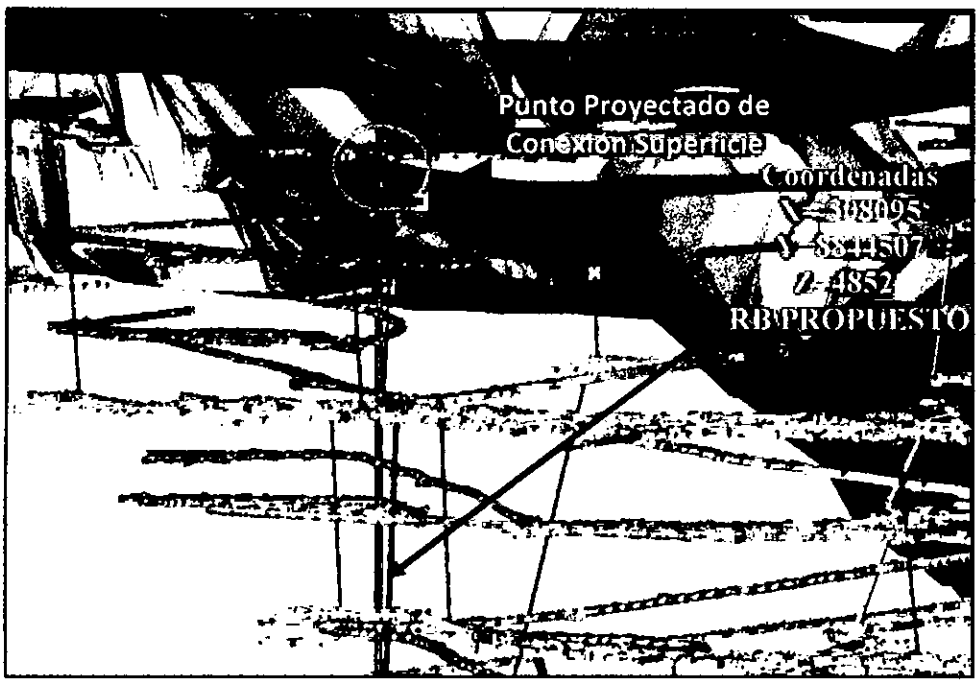


Fuente: El investigador-Ventsim.

C. Ubicación del RB propuesto alternativa 01

La siguiente ilustración muestra la posible ubicación de salida a superficie del Raise Borer propuesto, con sus respectivas coordenadas:

Figura N° 45: Simulación con un extractor en Superficie.



Fuente: El investigador-Ventsim.

D. Dimensionamiento del ventilador propuesto

Se realizó simulaciones con diferentes series de ventiladores y se tomó en consideración los parámetros siguientes:

- Presión total (In. de Agua), caudal requerido (cfm), potencia (Hp), ángulo de los alabes (°) Posteriormente a la construcción del RB se recomienda la ubicación de un ventilador extractor de 400,000 cfm, en la superficie. Después de ubicar en el Ventsim, éste nos permite estimar la presión que se requiere para mover esa cantidad de caudal en las condiciones establecidas por el sistema y la propia resistencia de la mina.

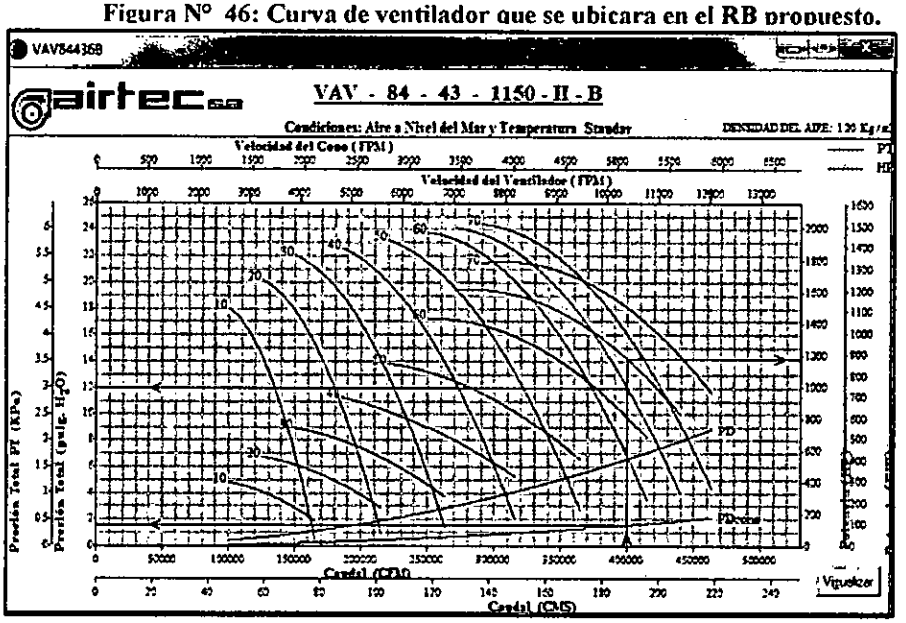
Cuadro N° 50: Característica del ventilador.

Alternativa	Caudal (cfm)	Presión Total (In de H2O)	Potencia (HP)	Modelo de ventilador	Angulo de Alabes (°)
Alternativa 01	400,000	12	1176.02	VAV-84-43-1150-II-B	65

Fuente: El investigador.

El programa nos indica que la presión requerida por el ventilador sería 1247.4 Pascales, normalmente a este valor se le agrega un 20% por margen de seguridad, por lo que el valor requerido sería de 1496.7 Pa.

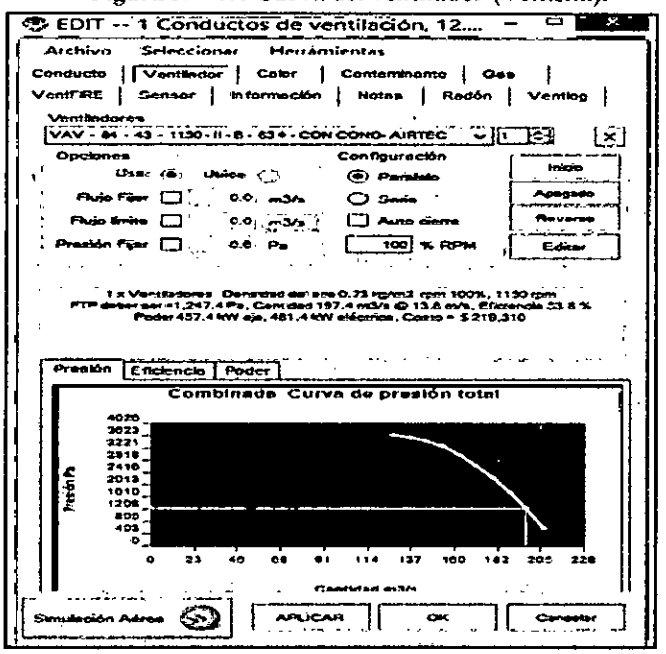
Figura N° 46: Curva de ventilador que se ubicara en el RB propuesto.



Fuente: El investigador-Programa Airtec.

La siguiente figura muestra el resumen de la curva del ventilador y la curva optima de la misma generado por el Software Ventsim.

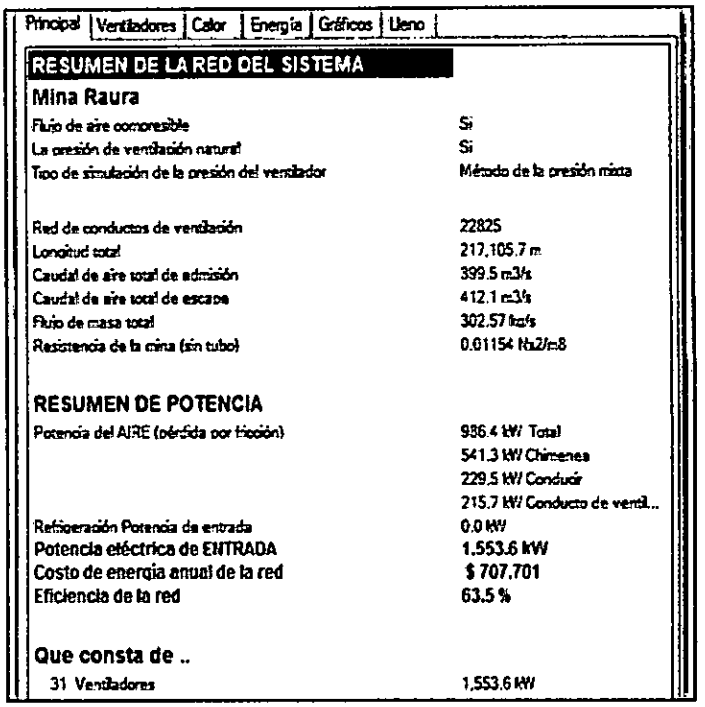
Figura N° 47: Curva del ventilador (Ventsim).



Fuente: El investigador.

E. Resumen de la red de alternativa 01

Figura N° 48: Resumen del sistema Alternativa 01 (Ventsim).



F. Resultados comparativos estado actual vs alternativa 01.

Los resultados de simulación comparados con los resultados iniciales de simulación (actual) y alternativa 1 se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 51: Comparativo del resumen.

RESUMEN DEL SISTEMA			
Descripción	Simulación Estado Actual	Simulación Alternativa 1	Variac. (%)
Flujo de aire compresible	Si	Si	
Presión de ventilación natural	Si	Si	
Longitud total	216,107.7 m	217,105.7 m	0.5
Caudal total de aire de Ingreso	312.4 m3/s	399.5 m3/s	28
Caudal total de aire en escape	319.4 m3/s	412.1 m3/s	29
Flujo de masa total	237.57 kg/s	302.57 kg/s	27
Resistencia de la mina (sin mangas)	0.01651 Ns2/m8	0.01154 Ns2/m8	-30
RESUMEN DE POTENCIA			
Potencia eléctrica instalada	1,136.0 kW	1,553.6 kW	37
Costo de energía anual de la red	$ 517,481	$ 707,701	37
Eficiencia de la red	66.50%	63.50%	-5

Fuente: El investigador.

Como se puede apreciar en el cuadro de resumen anterior, la instalación de éste ventilador en dicha labor permitiría duplicar los caudales de aire que ingresan a la mina, incrementándose el caudal de aire que circula a través del circuito principal de la mina en un 28% con respecto al que circula actualmente.

Si bien es cierto que con esta alternativa no se logra cubrir el 100% de la demanda actual de la mina, se lograría una mejora sustantiva hasta que se decida implementar alguna de las alternativas evaluadas para dar solución al problema y que se describen a continuación.

La siguiente tabla muestra un comparativo entre diferentes puntos, del estado Inicial de simulación y la simulación de la alternativa 1, lo más sobresaliente es el aumento considerable de los caudales en los niveles inferiores, y una mejora en las cantidades circulantes de aire en la parte profunda de la mina donde tenemos que concentramos analizando, es la parte más crítica de la mina.

Cuadro N° 52: Comparación de caudal (estaciones)

PUNTOS RELEVANTES DE COMPARACION (Estaciones)										
Item	ESTAC.	Ubicación de punto	Nivel	Resultado de Sim_UTM_Raura Mar_2013			Resultado de Sim_UTM_RB Alternativa1_400000cfm			Actual vs Alt_01
				Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del aire	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del Aire	Variac. (%)
1	E60	BM Catuva	630	56.37	119,433	Ingresa	47.7	101,069	Ingresa	-15
2	E106	BM OF_ARBE	630	13.83	29,299	Ingresa	15.7	33,266	Ingresa	14
3	E61	XC_8303	540	21.06	44,623	Ingresa	10.4	22,036	Ingresa	-51
4	E62	Pie CH_036	502	40.00	84,764	Sube	0.00	0	Sube	-100
5	E64	XC_960 NE	490	15.31	32,444	Ingresa	14.1	29,876	Ingresa	-8
6	E53	XC_925SE	440	7.94	16,832	Ingresa	15.4	32,630	Ingresa	94
7	E1	BM XC_770SW	380	26.81	56,807	Ingresa	27.7	58,692	Ingresa	3
8	E2	XC_860NE	380	5.97	12,648	Ingresa	11.1	23,519	Ingresa	86
9	E3	XC_890SE	380	19.62	41,581	Ingresa	16.6	35,173	Ingresa	-15

10	E95	XC_859NW	380	13.72	29,066	Ingresa	8.9	18,858	Ingresa	-35
11	E17	XC_575NE BM	300	22.37	47,393	Ingresa	22.6	47,886	Ingresa	1
12	E57	RP_940 (-)	300	26.07	55,229	Baja	45.7	96,831	Baja	75
13	E11	Pie RB_134	300	15.24	32,283	Baja	22.3	47,250	Baja	46
14	E25	XC_15W	300	12.62	26,732	Sube	21.1	44,708	Sube	67
15	E26	GL_805	300	12.13	25,702	Sube	38.2	80,940	Sube	215
16	E20	RP_960 (-)	250	13.17	27,900	Ingresa	20.8	44,072	Ingresa	58
17	E28	XC_840N	250	8.32	17,620	Sale	25	52,971	Sale	201
18	E24	XC_830NE	200	23.32	49,409	Egresa	30.7	65,048	Ingresa	32
19	E23	BP_200SW	200	6.85	14,514	Egresa	11.4	24,155	Ingresa	66
20	E22	XC_120SE	200	5.62	11,903	Ingresa	5.8	12,289	Ingresa	3

Fuente: El investigador.

También se tiene una comparación de velocidades en las bocaminas.

Cuadro N° 53: Comparación de la velocidad.

PUNTOS DE COMPARACION (VELOCIDAD)									
Item	Ubicación	Resultado Marzo_2013				Resultado Alternativa1_400000cfm			Actual Alt_01
		Velocidad		área	caudal	Velocidad		caudal	Variac.
		(m/s)	m/min	(m2)	(m3/s)	(m/s)	m/min	(m3/s)	(%)
1	BM Shucshapa	2.56	154	8.74	22.37	2.6	156	22.72	2
2	BM Tinquicocha	2.50	150	10.73	26.81	3.3	198	35.40	32
3	BM Catuva	2.38	143	23.72	56.37	2.5	150	59.30	5
4	BM Esperanza_RP_580	3.91	235	13.29	51.98	6.1	366	81.10	56
5	BM Gayco Norte 630	0.99	59	7.23	7.13	1	60	7.23	1
6	BM Gayco Sur 630	1.06	64	9.21	9.80	1.3	78	11.97	22
7	BM Gayco 580	0.76	45	11.35	8.58	1.1	66	12.48	45
8	BM RP_ Margot	2.92	175	5.50	16.07	1.4	84	7.71	-52
9	BM Arbe	0.83	50	16.57	13.83	1.9	114	31.48	128
10	BM Santa Ana	1.11	67	7.06	7.86	1	60	7.06	-10

Fuente: El investigador.

NOTA: las bocaminas Yanco y Abra son independientes por ello se excluyen.

G. Costo del sistema de ventilación.

Este análisis se realizó con el Ventsim donde se va calcular el costo total del sistema (costo de minado, costo energía y costo de ventilación), como se muestra a continuación.

Cuadro N° 54: Costo total del sistema de ventilación.

Labor	Tipo de Pared	Ancho (m)	Alto (m)	Long. (m)	Costo Fijo (US$)	Costo (US$/m)	Costo de Minado (US$)	Costo anual de Ventilación del conducto (US$)	Costo de Vida para el Conducto (US$)	Costo anual de Energía de la Red (US$)	Costo de Vida de la Red (US$)
R B Propuesto	Cond. Rimado	3.50		614	86,030	2,800	1,805,230	58,520	2,126,836	708,054	6,045,826
Crucero 1 NV-440	Average Blasted	4.00	4.00	66	4,500	950	67,200	501	69,951	707,430	4,301,948
Crucero 2NV-300	Average Blasted	4.00	4.00	73	4,500	950	73,850	205	75,032	707,506	4,309,105
Crucero 3NV-250	Average Blasted	4.00	4.00	64	4,500	950	65,300	44	65,693	707,810	4,302,460
Crucero 4NV-200	Average Blasted	4.00	4.00	162.7	4,500	950	159,065	85	159,501	707,761	4,395,754
Costo Total del sistema US$							2,170,645	59,355	2,497,013	708,054	4,854,727

Fuente: El investigador.

- Vida útil de 5 años.
- Tasa de descuento 10%.
- Costo de energía 0.052 US$/kw-hr

Cuadro N° 55: Costo anual de la Red de ventilación.

Labor	Costo Anual de Energía de la Red US$
Raise Borer Propuesto	708,054
Crucero1 NV-440	707,430
Crucero2 NV-300	707,506
Crucero3 NV-250	707,810
Crucero4 NV-200	707,761
Valor Máximo del Costo Anual de Ventilación	**708,054**

Fuente: El investigador.

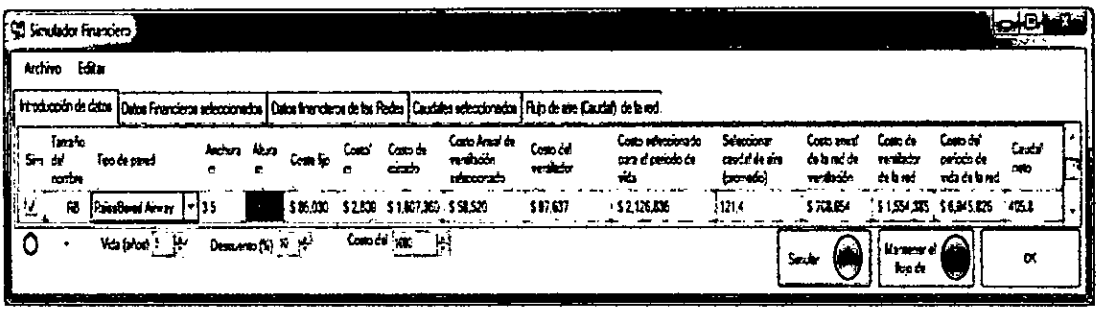
Cuadro N° 56: Costo de vida de la red.

Año	Inversión (US$)	Interés (%)	Flujo Anual (US$)
0	-2,170,645	0	2,170,645
1	-708,054	10%	643,685
2	-708,054	10%	585,169
3	-708,054	10%	531,971
4	-708,054	10%	483,610
5	-708,054	10%	439,646
VPN	Valor Presente Neto (Costo de Vida de la Red) (US$)		4,854,727

Fuente: El investigador.

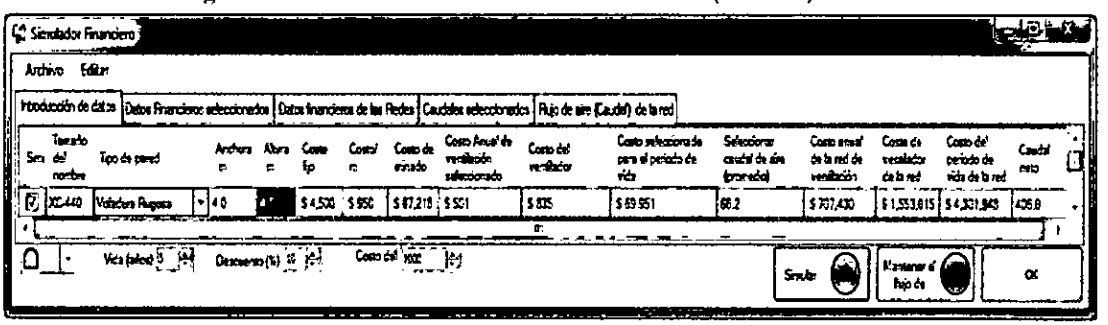
En las figuras siguientes se muestran los resultados de las simulaciones financieras generadas por el software Ventsim para cada labor que se va a desarrollar.

Figura N° 49: Simulación financiera del RB propuesto. Alternativa 01.



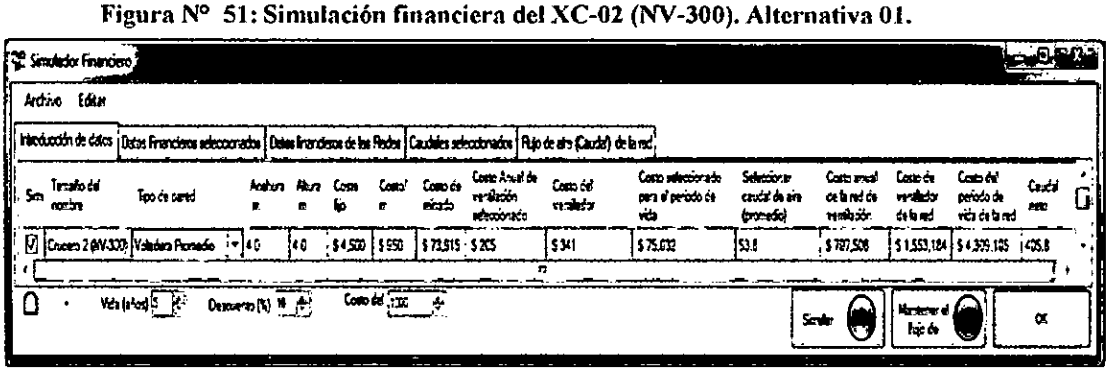
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 50: Simulación financiera del XC-01 (NV-440). Alternativa 01.



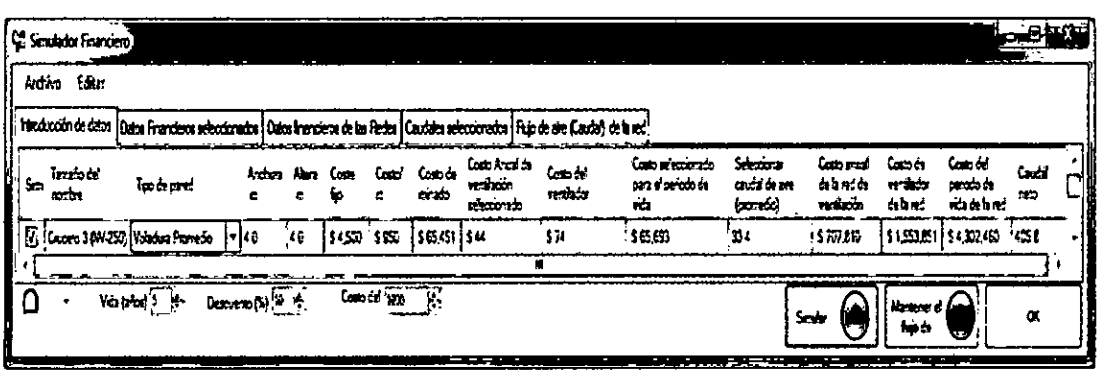
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 51: Simulación financiera del XC-02 (NV-300). Alternativa 01.



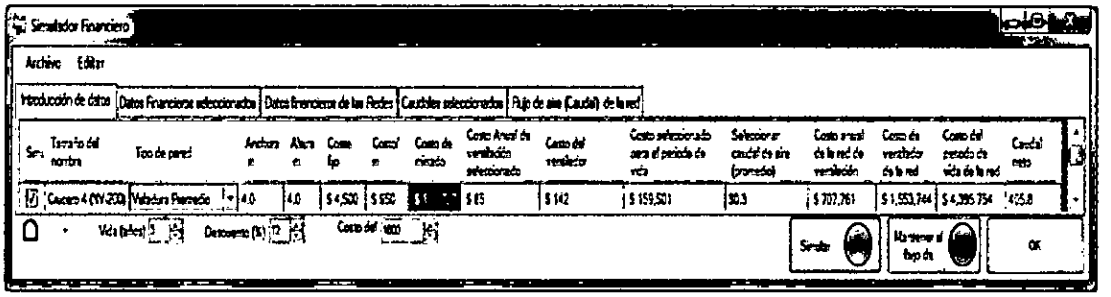
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 52: Simulación financiera del XC-03 (NV-250). Alternativa 01.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 53: Simulación financiera del XC-04 (NV-200). Alternativa 01.



Fuente: El investigador-Ventsim.

H. Conclusiones de la alternativa 1.

Extrayendo un caudal de 400k cfm por el RB Catuva, como se ha determinado, no se llega a cubrir el aire necesario 1'208,747 cfm, con este sistema solo llegamos a cubrir en un 70% de la demanda.

4.2.5.2. Alternativa 02

A. Plan de trabajo

En el diseño se propone:

- ✓ Construir un RB desde superficie hasta el Nv-200 (más profundo de la mina), Zona de Balilla, con diámetro de **4.00 metros.** Es la misma ubicación que para la alternativa 01 y de misma longitud.
- ✓ Instalar dos Ventiladores Extractor en paralelo Tipo: VAV-84-43-1150-II-B con cono de salida, cada uno de 300,000 cfm, con presión total de 14" CA a cota estándar (m.s.n.m).
- ✓ Construir Cruceros en los niveles: Nv-200 Zona Balilla, Nv-250 (By Pass 840-1), Nv-300 (GL-805) y Nv-440 (XC-810N) todos ellos hasta la proyección del RB propuesto **(Ver figura N° 45).**

- ✓ Regular el caudal de egreso (600k cfm) al 5% en el Nv-440, 15% en el Nv-300, 20% en el Nv-250 y 60% en el Nv-200.
- ✓ Retirar los ventiladores ubicados en NV-630 (RB-123 cerrar) NV-380 (RB-162), NV-300 (Impulsor Inyector de Shucshapa), NV-340 (CH-855OP) y NV-340 (RB-74).
- ✓ Hermetizar la labor (XC-115SE) NV-630, para desviar la salida por el RB-69 y RB-70.
- ✓ Instalar 02 ventiladores de 50,000 cfm en el RB-65 y el RB-67 respectivamente.

B. Ubicación del RB propuesto alternativa 02

Visualizar la figura de la Alternativa 01 para ubicar el RB salida a superficie, con sus respectivas coordenadas.

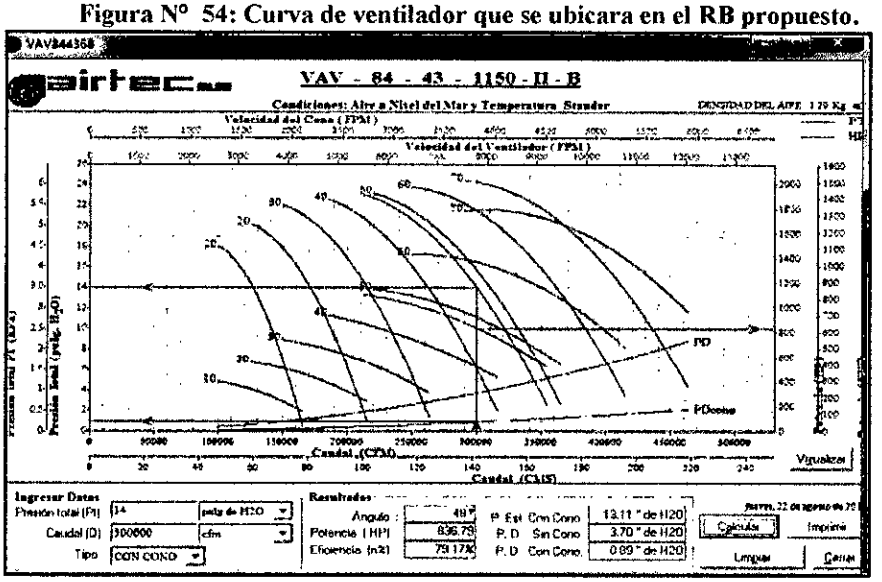
C. Dimensionamiento del ventilador propuesto

Se realizó simulaciones con diferentes series de ventiladores y se tomó en consideración los parámetros siguientes; Presión total (In. de Agua), Caudal requerido (cfm), Potencia (Hp), Ángulo de los alabes (°). Posteriormente a la construcción del RB propuesto señalado en la alternativa 01 con la ubicación de dos ventiladores en paralelo extractores de 300,000 cfm, en superficie ubicado en Ventsim, nos permite estimar la presión que se requiere para mover esa cantidad de caudal en las condiciones establecidas y la resistencia de la mina.

Cuadro N° 57: Característica del ventilador.

Alternativa	Caudal (cfm)	Presión Total (In de H2O)	Potencia (HP)	Modelo de Ventilador	Angulo de Alabes (°)
Alternativa 02	300,000 x2	14	2887	VAV-84-43-1150-II-B	48

Figura N° 54: Curva de ventilador que se ubicara en el RB propuesto.



Fuente: El investigador-Programa Airtec.

El programa nos indica que la presión requerida por el ventilador sería 2405.7 Pa, normalmente a este valor se le agrega un 20% por margen de seguridad, por lo que el valor requerido sería de 2887 Pa 14" CA a nivel de mar (Estándar).

D. Resumen de la red de alternativa 02

Se muestra el resumen del sistema de ventilación.

Figura N° 55: Resumen del sistema.

Flujo de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión mixta
Red de conductos de ventilación	22826
Longitud total	217,114.4 m
Caudal de aire total de admisión	470.6 m3/s
Caudal de aire total de escape	490.3 m3/s
Flujo de masa total	356.37 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00973 Ns2/m8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,293.4 kW Total
	659.1 kW Chimenea
	420.1 kW Conducir
	214.2 kW Conducto de ventil.
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	**1,819.9 kW**
Costo de energía anual de la red	**$ 828,993**
Eficiencia de la red	**71.1 %** $ 828,993

E. Resultados comparativos estado actual vs alternativa 02

Los resultados de simulación comparados con los resultados iniciales de simulación se muestran en la siguiente tabla, en ella observamos que hay un aumento del 50.64 % en el caudal total de admisión de la mina, también hay un aumento en la potencia eléctrica instalada de 60.20 % y un aumento igual en los costos de la energía eléctrica consumidos por ventilación.

Cuadro N° 58: Resumen del sistema. Alternativa 02.

RESUMEN DEL SISTEMA			
Descripción	Simulación Estado Actual	Simulación Alt_600,000 cfm	Variac. (%)
Flujo de aire compresible	Si	Si	Actual Alt_02
Presión de ventilación natural	Si	Si	
Tipo de presión para simular los ventiladores	Método de presión total	Método presión total	
Cantidad de conductos de ventilación en la Red	22807 unid.	22826 unid.	0.1
Longitud total	216,107.7 m	217,114.4 m	0.5
Caudal total de aire de Ingreso	312.4 m3/s	470.6 m3/s	51
Caudal total de aire en escape	319.4 m3/s	490.3 m3/s	54
Flujo de masa total	237.57 kg/s	356.37 kg/s	50
Resistencia de la mina (sin mangas)	0.01651 Ns2/m8	0.00973 Ns2/m8	-41
RESUMEN DE POTENCIA			
Potencia eléctrica instalada	1,136.0 kW	1,819.9 kW	60
Costo de energía anual de la red	$ 517,481	$ 828,993	60
Eficiencia de la red	66.50%	71.10%	7

Fuente: El investigador.

La siguiente tabla muestra un comparativo entre diferentes puntos, del estado inicial de simulación y la simulación de la alternativa 2, lo más sobresaliente es el aumento considerable de los caudales en los niveles inferiores, y una mejora en las cantidades circulantes de aire en la parte profunda de la mina. Adicionalmente a esto se suministra el modelo con el estado de la simulación para observar más detenidamente los puntos variados al interior del modelo.

Cuadro N° 59: Comparación del caudal (estaciones).

PUNTOS RELEVANTES DE COMPARACION (Estaciones)										
Item	ESTAC.	Ubicación de punto	Nivel	Resultado de Sim_UTM_Raura Mar_2013			Resultado de Sim_UTM_R8 Alternativa2_600000cfm			Actual vs Alt_02
				Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del aire	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del Aire	Variac. (%)
1	E60	BM Catuva	630	56.37	119,433	Ingresa	55.3	117,172	Ingresa	-2
2	E106	BM OF_ARBE	630	13.83	29,299	Ingresa	18.3	38,775	Ingresa	32
3	E61	XC_830S	540	21.06	44,623	Ingresa	10.6	22,460	Ingresa	-50
4	E62	Pie CH_036	502	40.00	84,764	Sube	0	0		-100
5	E64	XC_960 NE	490	15.31	32,444	Ingresa	16.2	34,325	Ingresa	6
6	E53	XC_925SE	440	7.94	16,832	Ingresa	15	31,783	Ingresa	89
7	E1	BM XC_770SW	380	26.81	56,807	Ingresa	32.6	69,074	Ingresa	22
8	E2	XC_860NE	380	5.97	12,648	Ingresa	13.1	27,757	Ingresa	119
9	E3	XC_890SE	380	19.62	41,581	Ingresa	19.5	41,317	Ingresa	-1
10	E95	XC_859NW	380	13.72	29,066	Ingresa	5.3	11,230	Sale	-61
11	E17	XC_575NE BM	300	22.37	47,393	Ingresa	28.2	59,751	Ingresa	26
12	E57	RP_940 (-)	300	26.07	55,229	Baja	64.4	136,453	Baja	147
13	E11	Pie RB_134	300	15.24	32,283	Baja	25.9	54,878	Baja	70
14	E25	XC_15W	300	12.62	26,732	Sube	32.6	69,074	Sube	158
15	E26	GL_805	300	12.13	25,702	Sube	61.6	130,521	Sube	408
16	E20	RP_960 (-)	250	13.17	27,900	Ingresa	29.6	62,718	Ingresa	125
17	E28	XC_840N	250	8.32	17,620	Sale	35	74,159	Sale	321
18	E24	XC_830NE	200	23.32	49,409	Egresa	42.5	90,051	Ingresa	82
19	E23	BP_200SW	200	6.85	14,514	Egresa	15.4	32,630	Ingresa	125
20	E22	XC_120SE	200	5.62	11,903	Ingresa	6	12,713	Ingresa	7

Fuente: El investigador.

También se tiene una comparación de velocidades en las bocaminas como se ilustra a continuación.

Cuadro N° 60: Comparación de velocidad.

PUNTOS DE COMPARACION (VELOCIDAD)									
Item	Ubicación	Resultado Marzo_2013				Resultado Alternativa2_600000cfm			Actual Alt_02
		Velocidad		área	caudal	Velocidad		caudal	Variac.
		(m/s)	m/min	(m2)	(m3/s)	(m/s)	m/min	(m3/s)	(%)
1	BM Shucshapa	2.56	154	8.74	22.37	3.1	186	27.09	21
2	BM Tinquicocha	2.50	150	10.73	26.81	3.9	234	41.84	56
3	BM Catuva	2.38	143	23.72	56.37	3.2	192	75.90	35
4	BM Esperanza_RP_580	3.91	235	13.29	51.98	7.3	438	97.05	87
5	BM Gayco Norte 630	0.99	59	7.23	7.13	1.2	72	8.68	22
6	BM Gayco Sur 630	1.06	64	9.21	9.80	1.5	90	13.81	41
7	BM Gayco 580	0.76	45	11.35	8.58	1.3	78	14.75	72

8	BM RP_ Margot	2.92	175	5.50	16.07	1.4	84	7.71	-52
9	BM Arbe	0.83	50	16.57	13.83	2.3	138	38.11	176
10	BM Santa Ana	1.11	67	7.06	7.86	1.2	72	8.47	8

Fuente: El investigador.

F. Costo del Sistema de Ventilación

Este análisis se realizó con el Ventsim donde se va calcular el costo total del sistema (costo de minado, costo energía y costo de ventilación), como se muestra a continuación.

Cuadro N° 61: Costo total de la red de Ventilación.

Labor	Tipo de Pared	Ancho (m)	Alto (m)	Long. (m)	Costo Fijo (US$)	Costo (US$/m)	Costo de Minado (US$)	Costo anual de Ventilación del conducto seleccionado (US$)	Costo de Vida para el Conducto Seleccionado (US$)	Costo anual de Energía de la Red (US$)	Costo de Vida de la Red (US$)
Raise Borer Propuesto	Cond. . Rimado	4.0		614.00	92,040	3,200	2,056,840	88,625	2,570,926	807,153	6,918,785
Crucero 1 NV-440	Average Blasted	4.0	4.0	66.00	4,500	950	67,200	743	71,272	801,011	4,862,132
Crucero 2NV-300	Average Blasted	4.0	4.0	73.00	4,500	950	73,850	1,010	79,429	800,586	4,866,289
Crucero 3NV-250	Average Blasted	4.0	4.0	64.00	4,500	950	65,300	129	66,156	801,717	4,864,595
Crucero 4NV-200	Average Blasted	4.0	4.0	162.70	4,500	950	159,065	265	160,483	801,587	4,957,400
Costo Total del sistema US$							2,422,255	90,772	2,948,266	807,153	5,482,000

Fuente: El investigador.

- Vida útil de 5 años.
- Tasa de descuento 10%.
- Costo de energía 0.052 US$/kw-hr

Cuadro N° 62: Costo anual de energía de la Red de ventilación.

Labor	Costo Anual de Energía de la Red (US$)
Raise Borer Propuesto	807,153
Crucero1 NV-440	801,011
Crucero2 NV-300	800,586
Crucero3 NV-250	801,717
Crucero4 NV-200	801,587
Valor Máximo del Costo Anual de Ventilación	**807,153**

Fuente: El investigador.

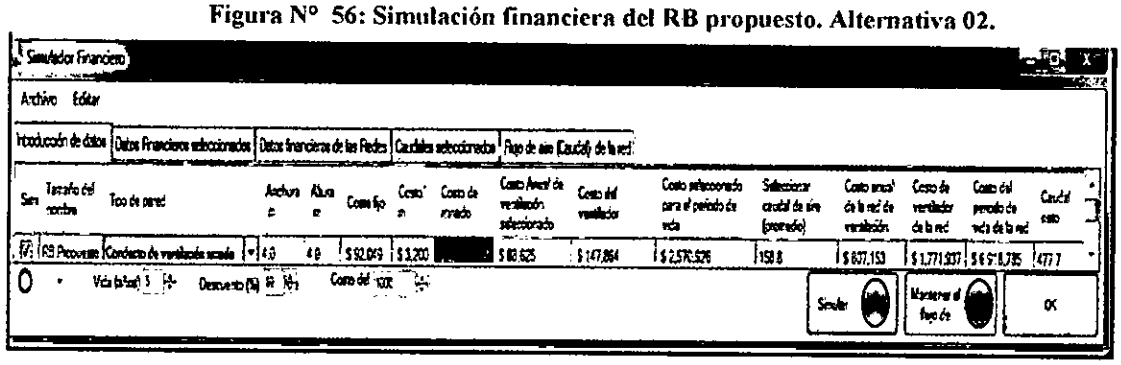
Cuadro N° 63: Costo de vida de la red.

Año	Inversión (US$)	Interés (%)	Flujo Anual (US$)
0	-2,422,255	0	2,422,255
1	-807,153	10%	733,775
2	-807,153	10%	667,069
3	-807,153	10%	606,426
4	-807,153	10%	551,296
5	-807,153	10%	501,179
VPN	Valor Presente Neto (Costo de Vida de la Red) (US$)		5,482,000

Fuente: El investigador.

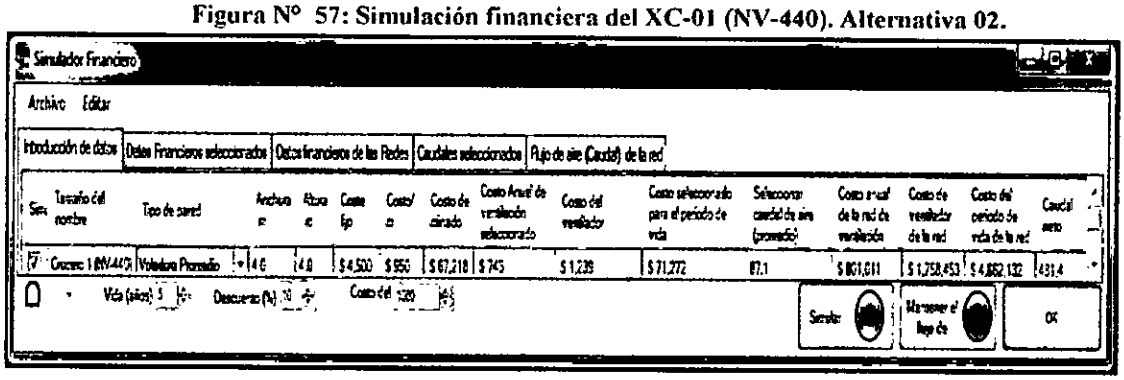
En las figuras siguientes se muestran los resultados de las simulaciones financieras generadas por el software Ventsim.

Figura N° 56: Simulación financiera del RB propuesto. Alternativa 02.



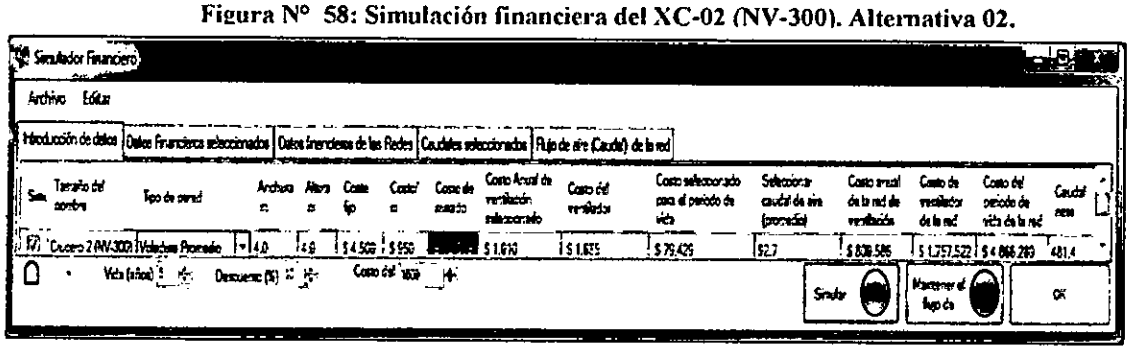
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 57: Simulación financiera del XC-01 (NV-440). Alternativa 02.



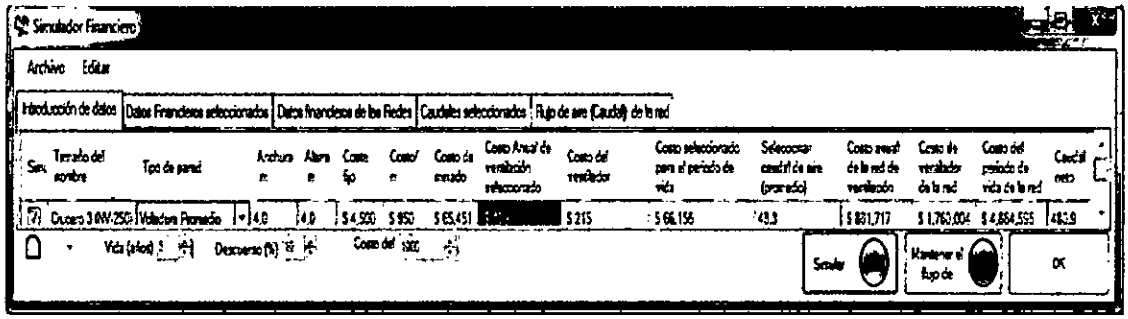
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 58: Simulación financiera del XC-02 (NV-300). Alternativa 02.



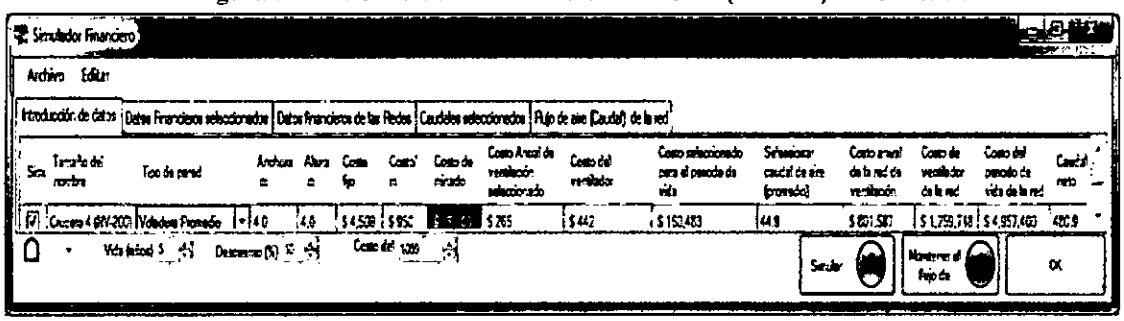
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 59: Simulación financiera del XC-03 (NV-250). Alternativa 02.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 60: Simulación financiera del XC-04 (NV-200). Alternativa 02.



Fuente: El investigador-Ventsim.

G. Conclusiones de la Alternativa 2

Según prospera la profundización de la mina las condiciones ambientales irán agudizando, siendo necesario definir un sistema de ventilación forzada, como se propone en esta alternativa. Extrayendo 600,000 cfm cobertura del aire al 82%.

4.2.5.3. Alternativa 03

A. Plan de trabajo.

Para este diseño consideraremos solo los circuitos I, II, III y V excluyendo el circuito IV, por ser circuito independiente.

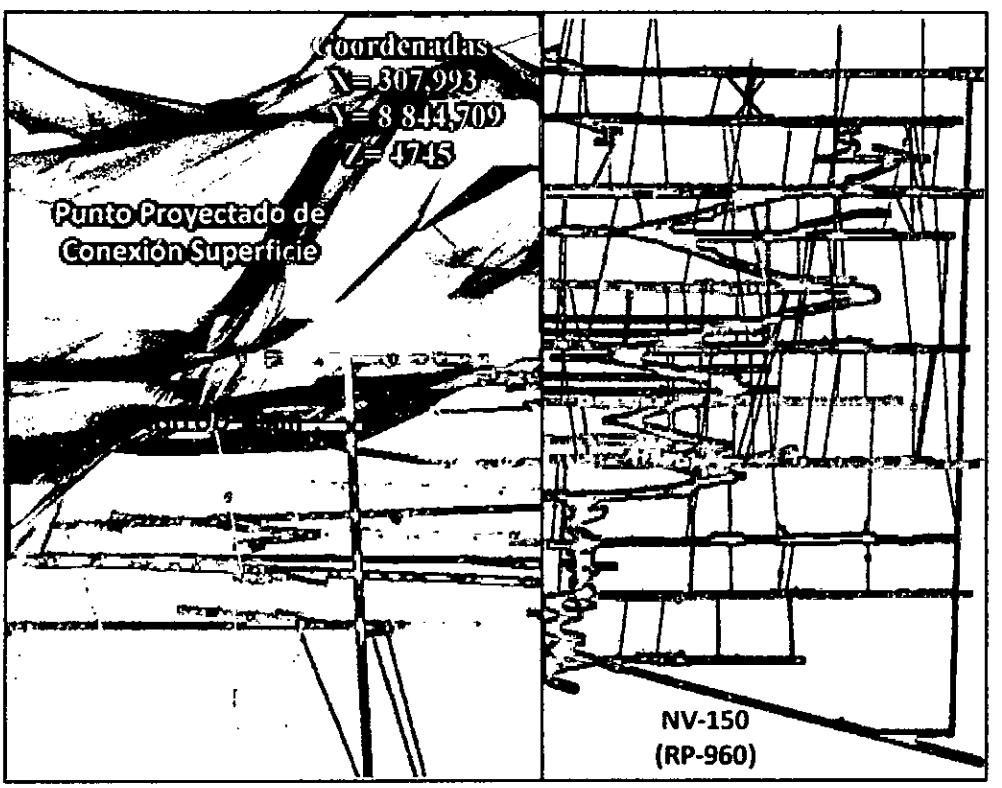
- ✓ Construir un RB desde superficie hasta el NV-150 (RP 960), diámetro de 3.5m con una longitud de 594 m.
- ✓ Instalar un Ventilador Extractor Tipo: VAV-84-43-1150-II-B 65° con cono de 400,000 cfm con presión total de 12" CA, a nivel del mar, en el NV-740 (BM 740).

Esta configuración se presenta después de variadas pruebas, aumento de caudales en la profundización con una cobertura al 78% (caudal simulado 878,683 cfm), comparado con lo requerido por los circuitos I, II, III y V, (529.6 m3/s <>1´122,173 cfm) con un déficit de caudal de 243,490 cfm.

B. Ubicación del RB propuesto alternativa 03

La siguiente ilustración muestra la posible ubicación de salida a superficie del Raise Borer propuesto:

Figura N° 61: Ubicación del Raise Borer propuesto.



Fuente: El investigador-Ventsim.

C. Resumen de la red de alternativa 03

En la figura N° 73 se muestra el resumen del sistema de ventilación generado por el Software Ventsim Visual Avanzado en ella se observa distintos datos de interés.

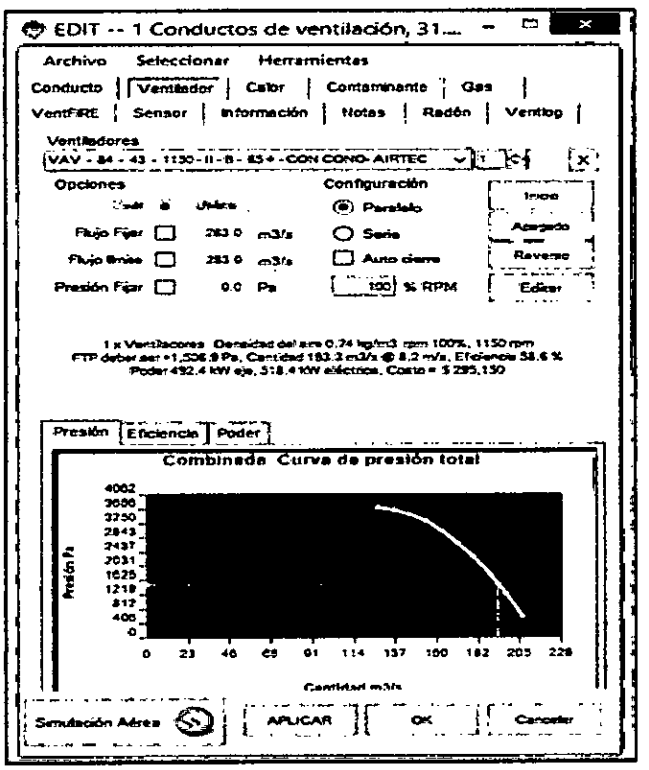
Figura N° 62: Resumen del sistema alternativa 03.

Mina Raura	
Flujo de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión mixta
Red de conductos de ventilación	21156
Longitud total	196,976.7 m
Caudal de aire total de admisión	414.7 m3/s
Caudal de aire total de escape	423.5 m3/s
Flujo de masa total	313.20 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01283 Ns2/m8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,084.8 kW Total
	630.1 kW Chimeneas
	314.5 kW Conducir
	140.2 kW Conducto de ventil...
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	**1,645.6 kW**
Costo de energía anual de la red	**$ 749,600**
Eficiencia de la red	**65.9 %**

D. Dimensionamiento del ventilador propuesto

El ventilador es igual que para la alternativa 1 por ende tiene las mismas características y su curva respectiva generada por Airtec y Ventsim.

Figura N° 63. Curva del ventilador.



E. Resultados comparativos estado actual vs alternativa 03

Los resultados de simulación comparados con los resultados iniciales de simulación se muestran en la siguiente tabla, en ella observamos que hay un aumento del 47.69 % en el caudal total de admisión de la mina, también hay un aumento en la potencia eléctrica instalada de 44.86 % y un aumento igual en los costos de la energía eléctrica consumidos por ventilación.

Cuadro N° 64: Resumen del sistema.

RESUMEN DEL SISTEMA			
Descripción	Simulación Estado Actual	Simulación Alt3_400000 cfm	Variac. (%)
Flujo de aire compresible	Si	Si	
Presión de ventilación natural	Si	Si	Actual
Tipo de presión para simular los ventiladores	Método de presión total	Método presión total	Alt_03
Longitud total	195,653.2 m	196,976.7 m	1
Caudal total de aire de Ingreso	280.8 m3/s	414.7 m3/s	48
Caudal total de aire en escape	286.8 m3/s	423.5 m3/s	48
Flujo de masa total	213.53 kg/s	313.20 kg/s	47
Resistencia de la mina (sin mangas)	0.02682 Ns2/m8	0.01283 Ns2/m8	-52
RESUMEN DE POTENCIA			
Potencia eléctrica instalada	1,136.0 kW	1,645.6 kW	45
Costo de energía anual de la red	$ 517,486	$ 749,600	45
Eficiencia de la red	69.70%	65.90%	-5

Fuente: El investigador.

La siguiente tabla muestra un comparativo entre diferentes puntos, del Estado actual de simulación y la simulación de la alternativa 3, lo más sobresaliente es el aumento considerable de los caudales en los niveles inferiores, y una mejora en las cantidades circulantes de aire en la parte profunda de la mina. Adicional a esto se suministra el modelo con el estado de la simulación para observar más detenidamente los puntos variados al interior del modelo.

Cuadro N° 65: Comparación de estaciones (caudal)

PUNTOS RELEVANTES DE COMPARACION (Estaciones)									
Item	Ubicación de punto	Nivel	Resultado de Sim_UTM_Raura Mar_2013			Resultado de Sim_UTM_RB Alternat3_400000cfm			Actual vs 400kcfm
			Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del aire	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del Aire	Variac. (%)
1	BM Catuva	630	56.37	119,433	Ingresa	46.7	98950	Ingresa	-17
2	BM OF_ARBE	630	13.83	29,299	Ingresa	15.4	32630	Ingresa	11
3	XC_830S	540	21.06	44,623	Ingresa				
4	Pie CH_036	502	40.00	84,764	Ingresa	30.7	65048	Sube	-23
5	XC_960 NE	490	15.31	32,444	Ingresa	13.4	28392	Ingresa	-12
6	XC_925SE	440	7.94	16,832	Ingresa	8.3	17586	Ingresa	4
7	BM XC_770SW	380	26.81	56,807	Ingresa	28.7	60811	Ingresa	7
8	XC_860NE	380	5.97	12,648	Ingresa	11.2	23731	Ingresa	88
9	XC_890SE	380	19.62	41,581	Ingresa	17.5	37080	Ingresa	-11
10	XC_859NW	380	13.72	29,066	Ingresa	3.1	6568	Ingresa	-77
11	XC_575NE BM	300	22.37	47,393	Ingresa	23.4	49581	Ingresa	5
12	RP_940 (-)	300	26.07	55,229	Baja	34.2	72464	Baja	31
13	Pie RB_134	300	15.24	32,283	Baja	19	40258	Baja	25
14	XC_15W	300	12.62	26,732	Sube	4.1	8687	Sube	-68
15	GL_805	300	12.13	25,702	Sube	45.9	97255	Sube	278
16	RP_960 (-)	250	13.17	27,900	Ingresa	19	40258	Ingresa	44
17	XC_840N	250	8.32	17,620	Sale	15.2	32206	Sale	83
18	XC_830NE	200	23.32	49,409	Ingresa	25.1	53183	Ingresa	8
19	BP_200SW	200	6.85	14,514	Egresa	14.4	30511	Ingresa	110
20	XC_120SE	200	5.62	11,903	Ingresa	5.9	12501	Ingresa	5

Fuente: El investigador.

Cuadro N° 66: Comparación de velocidad.

PUNTOS DE COMPARACION (VELOCIDAD)									
Item	Ubicación	Resultado Marzo_2013				Resultado Alternativa_400000cfm			Actual 400kcfm
		Velocidad		área	caudal	Velocidad		caudal	Variac.
		(m/s)	m/min	(m2)	(m3/min)	(m/s)	m/min	(m3/min)	(%)
1	BM Shucshapa	2.56	154	8.74	22.37	2.7	162	23.60	5
2	BM Tinquicocha	2.50	150	10.73	26.81	2.9	174	31.12	16
3	BM Catuva	2.38	143	23.72	56.37	2.5	150	59.30	5
4	BM Esperanza_RP_580	3.91	235	13.29	51.98	6.3	378	83.76	61
5	BM Gayco Norte 630	0.99	59	7.23	7.13	0.9	54	6.51	-9
6	BM Gayco Sur 630	1.06	64	9.21	9.80	1.1	66	10.13	3
7	BM Gayco 580	0.76	45	11.35	8.58	1.2	72	13.62	59
8	BM RP_ Margot	2.92	175	5.50	16.07	3	180	16.51	3
9	BM Arbe	0.83	50	16.57	13.83	1.8	108	29.83	116
10	BM Santa Ana	1.11	67	7.06	7.86	1.2	72	8.47	8
11	BM Hidro	4.88	293	5.50	26.85	5.6	336	30.78	15

Fuente: El investigador.

F. Costo del sistema de ventilación

Este análisis se realizó con el Ventsim donde se va calcular el costo total del sistema (costo de minado, costo energía).

Cuadro N° 67: Costo total de la red de ventilación.

Labor	Tipo de Pared	Ancho (m)	Alto (m)	Long. (m)	Costo Fijo (US$)	Costo (US$/m)	Costo de Minado (US$)	Costo anual de ventilación del conducto seleccionado (US$)	Costo de Vida para el Conducto Seleccionado (US$)	Costo anual de Energía de la Red (US$)	Costo de Vida de la Red (US$)
RB Propuesto	Cond. Rimado	3.50		594.30	86,030	2,800	1,750,070	58,859	2,071,488	1,095,880	8,310,194
Crucero 1 NV-300	Average Blasted	4.00	4.00	34.00	4,500	950	36,800	1,368	44,294	1,095,322	6,593,514
Crucero 2NV-250	Average Blasted	4.00	4.00	43.60	4,500	950	45,920	41	46,119	1,095,798	6,695,430
Crucero 3NV-150	Average Blasted	4.00	4.00	150.80	4,500	950	147,760	143	148,565	1,095,637	6,706,359
Costo Total del sistema US$							1,980,550	60,411	2,310,466	1,095,880	6,134,797

Fuente: El investigador.

- Vida útil de 5 años.
- Tasa de descuento 10%.
- Costo de energía 0.052 US$/kw-hr

Cuadro N° 68: Costo anual de la Red de ventilación.

Labor	Costo Anual de Energía de la Red US$
Raise Borer Propuesto	1,095,880
Crucero1 NV-440	1,095,322
Crucero2 NV-300	1,095,798
Crucero3 NV-250	1,095,637
Valor Máximo del Costo Anual de Ventilación	**1,095,880**

Fuente: El investigador.

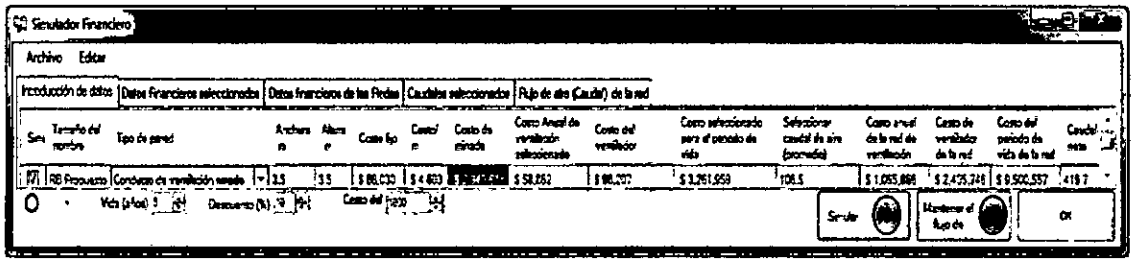
Cuadro N° 69: Costo de vida de la red.

Año	Inversión (US$)	Interés (%)	Flujo Anual (US$)
0	-1,980,550	0	1,980,550
1	-1,095,880	10%	996,255
2	-1,095,880	10%	905,686
3	-1,095,880	10%	823,351
4	-1,095,880	10%	748,501
5	-1,095,880	10%	680,455
VPN	**Valor Presente Neto (Costo de Vida de la Red) (US$)**		**6,134,797**

Fuente: El investigador.

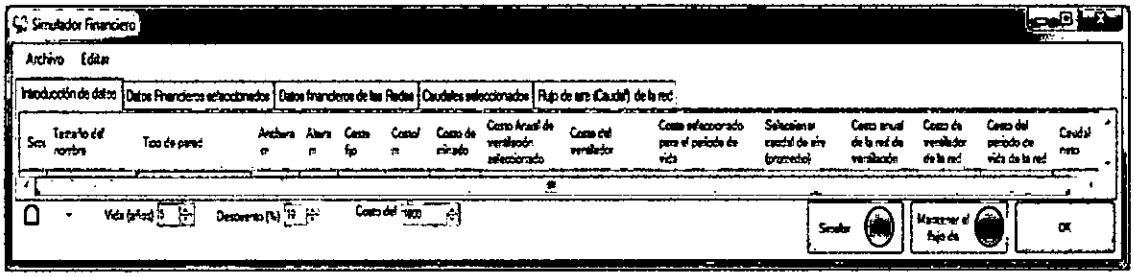
En las figuras siguientes se muestran los resultados de las simulaciones financieras generadas por el software Ventsim.

Figura N° 64: Simulación financiera del RB propuesto. Alternativa 03.



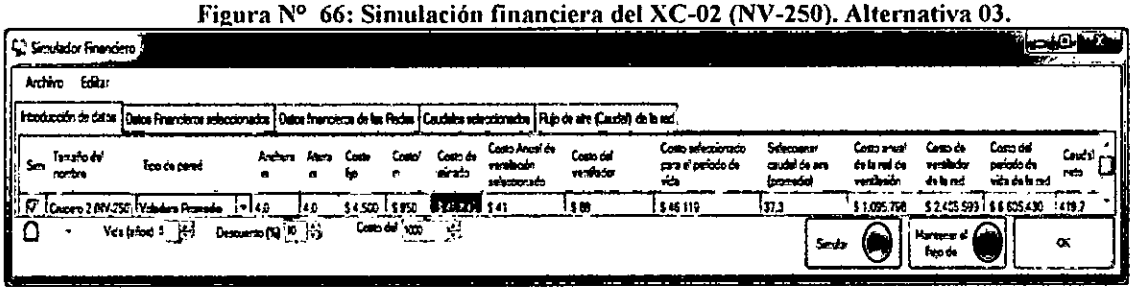
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 65: Simulación financiera del XC-01 (NV-300). Alternativa 03.



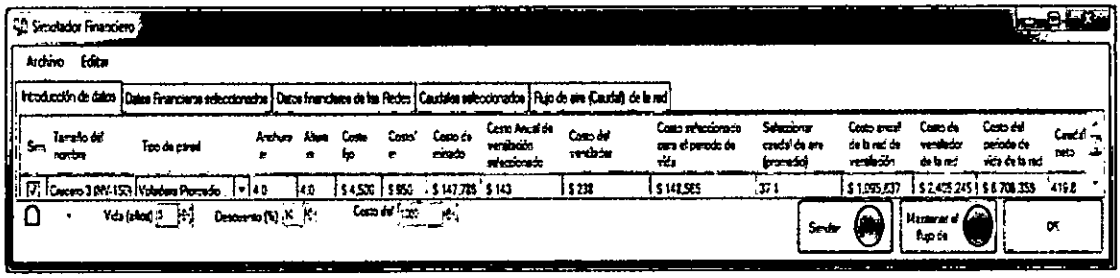
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 66: Simulación financiera del XC-02 (NV-250). Alternativa 03.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 67: Simulación financiera del XC-03 (NV-150). Alternativa 03.



Fuente: El investigador-Ventsim.

G. Conclusiones de la alternativa 3

- Extrayendo 400,000 cfm se llega a cubrir el aire requerido al 78 %.

4.2.5.4. Alternativa 04

A. Plan de Trabajo.

Para este diseño consideraremos solamente los circuitos I, II, III y V excluyendo el circuito IV. Se propone lo siguiente.

- ✓ Construir un RB desde superficie hasta el Nv-150 (cerca de la RP 960), con diámetros de **4.00 m,** con una longitud de **594 m.**
- ✓ Instalar dos Ventiladores Extractor en paralelo Tipo: VAV-84-43-1150-II-B con cono de salida, cada uno de 300,000 cfm, con presión total de 14" CA (Nivel del mar). en el NV-740 (BM 740).
- ✓ Retirar los ventiladores ubicados en NV-630 (RB-123 cerrar) NV-380 (RB-162), NV-300 (Impulsor Inyector de Shucshapa), NV-340 (CH-855OP) y NV-340 (RB-74).
- ✓ Hermetizar la labor (XC-115SE) NV-630, para desviar la salida por el RB-69 y RB-70.
- ✓ Instalar 02 ventiladores de 58,000 cfm y 132,000 cfm en el RB-65 y el RB-67 respectivamente.

B. Ubicación del RB Propuesto Alternativa 04.

La ubicación del RB propuesto con las especificaciones señaladas de esta Alternativa, se indica en la alternativa 3.

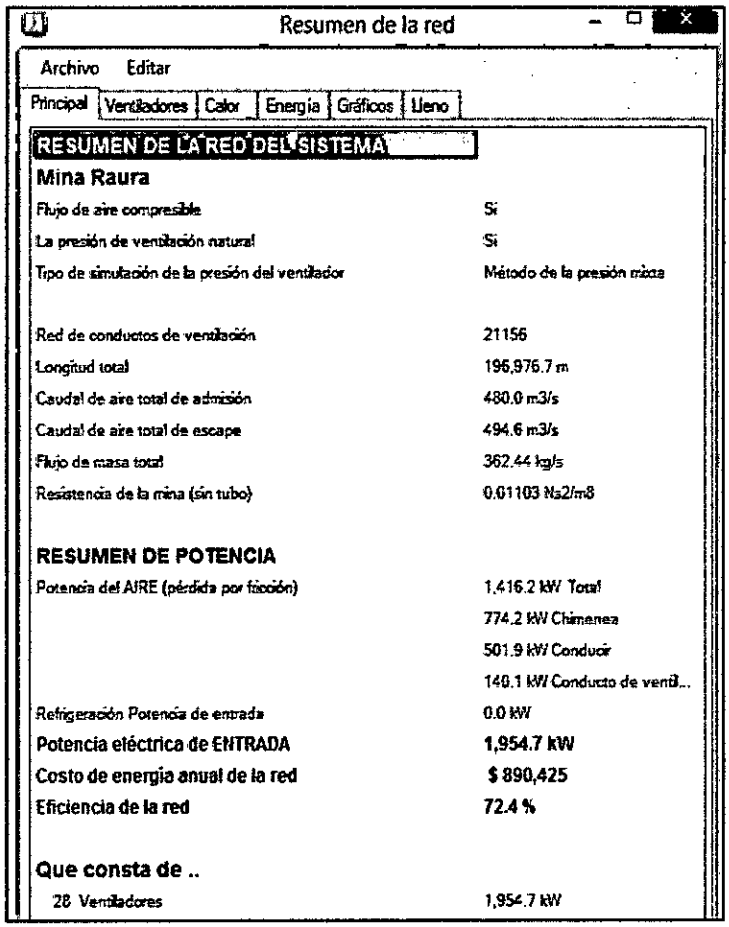
C. Dimensionamiento del Ventilador Propuesto.

El ventilador es igual que para la alternativa 2 por ende tiene las mismas características y su curva respectiva tanto del programa y del Ventsim.

D. Resumen de la red de alternativa 04

Con un ventilador de 600k cfm (simulando caudal total de 1017,043 cfm). En la figura N° 79 se muestra el resumen del sistema de ventilación.

Figura N° 68: Resumen del sistema. Alternativa 04.



Fuente: El investigador-Ventsim.

E. Resultados comparativos del estado actual vs alternativa 04

Los resultados de simulación comparados con los resultados iniciales de simulación se muestran en la siguiente tabla, en ella observamos que hay un aumento del 70.94 % en el caudal total de admisión de la mina, también hay un aumento en la potencia eléctrica instalada de 72.02 % y un aumento igual en los costos de la energía eléctrica.

Cuadro N° 70: Resumen del sistema.

RESUMEN DEL SISTEMA			
Descripción	Simulación Estado Actual	Simulación Alt4_600000 cfm	Variac. (%)
Flujo de aire compresible	Si	Si	Actual Alt_04
Presión de ventilación natural	Si	Si	
Tipo de presión para simular los ventiladores	Método de presión total	Método presión total	
Longitud total	195,653.2 m	196,976.7 m	0.7
Caudal total de aire de Ingreso	280.8 m3/s	480.0 m3/s	71
Caudal total de aire en escape	286.8 m3/s	494.6 m3/s	72
Flujo de masa total	213.53 kg/s	362.44 kg/s	70
Resistencia de la mina (sin mangas)	0.02682 Ns2/m8	0.01103 Ns2/m8	-59
RESUMEN DE POTENCIA			
Potencia eléctrica instalada	1,136.0 kW	1,954.7 kW	72
Costo de energía anual de la red	$ 517,486	$ 890,425	72
Eficiencia de la red	69.70%	72.40%	4

Fuente: El investigador.

La siguiente tabla muestra un comparativo del estado inicial de simulación y la simulación de la alternativa 4, lo más sobresaliente es el aumento considerable de los caudales en los niveles inferiores, y una mejora en las cantidades circulantes de aire en la parte profunda de la mina, adicionalmente a esto se suministra el modelo con el estado de la simulación.

Cuadro N° 71: Comparación de estaciones (caudal)

PUNTOS RELEVANTES DE COMPARACION (Estaciones)									
Item	Ubicación de punto	Nivel	Resultado de Sim_UTM_Raura Mar_2013			Resultado de Sim_UTM_RB Alternat4_600000cfm			Actual vs 600kcfm
			Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del aire	Caudal (m3/s)	Caudal (cfm)	Dirección del Aire	Variac. (%)
1	BM Catuva	630	56.37	119,433	Ingresa	53.7	113,782	Ingresa	-5
2	BM OF_ARBE	630	13.83	29,299	Ingresa	13.3	28,181	Ingresa	-4
3	XC_830S	540	21.06	44,623	Ingresa				
4	Pie CH_036	502	40.00	84,764	Ingresa	35.3	74,795	Ingresa	-12
5	XC_960 NE	490	15.31	32,444	Ingresa	15.2	32,206	Ingresa	-1
6	XC_925SE	440	7.94	16,832	Ingresa	6.3	13,349	Ingresa	-21
7	BM XC_770SW	380	26.81	56,807	Ingresa	33.1	70,134	Ingresa	23
8	XC_860NE	380	5.97	12,648	Ingresa	13.1	27,757	Ingresa	119

9	XC_890SE	380	19.62	41,581	Ingresa	20.1	42,589	Ingresa	2
10	XC_859NW	380	13.72	29,066	Ingresa	0.6	1,271	Sale	-96
11	XC_575NE-BM	300	22.37	47,393	Ingresa	28.2	59,751	Ingresa	26
12	RP_940 (-)	300	26.07	55,229	Baja	48.7	103,188	Baja	87
13	Pie RB_134	300	15.24	32,283	Baja	21.7	45,979	Baja	42
14	XC_15W	300	12.62	26,732	Sube	8.5	18,010	Sube	-33
15	GL_805	300	12.13	25,702	Sube	60.1	127,342	Sube	395
16	RP_960 (-)	250	13.17	27,900	Ingresa	25.3	53,607	Ingresa	92
17	XC_840N	250	8.32	17,620	Sale	23.5	49,793	Sale	183
18	XC_830NE	200	23.32	49,409	Ingresa	31.5	66,743	Ingresa	35
19	BP_200SW	200	6.85	14,514	Egresa	19.3	40,894	Ingresa	182
20	XC_120SE	200	5.62	11,903	Ingresa	6	12,713	Ingresa	7

Fuente: El investigador.

También se tiene una comparación de velocidades en las 11 bocaminas de la mina Raura y su respectiva variación, como se ilustra a continuación.

Cuadro N° 72: Comparación de velocidades (Bocaminas)

PUNTOS DE COMPARACION (VELOCIDAD)									
Item	Ubicación	Resultado Marzo_2013				Resultado Alternativa_600000cfm			Actual 600kcfm
		Velocidad		área	caudal	Velocidad		caudal	Variac.
		(m/s)	m/min	(m2)	(m3/min)	(m/s)	m/min	(m3/min)	(%)
1	BM Shucshapa	2.56	154	8.74	22.37	3.3	198	28.8	29
2	BM Tinquicocha	2.50	150	10.73	26.81	3.4	204	36.5	36
3	BM Catuva	2.38	143	23.72	56.37	2.9	174	68.8	22
4	BM Esperanza_RP_580	3.91	235	13.29	51.98	7.3	438	97.1	87
5	BM Gayco Norte 630	0.99	59	7.23	7.13	1	60	7.2	1
6	BM Gayco Sur 630	1.06	64	9.21	9.80	1.4	84	12.9	32
7	BM Gayco 580	0.76	45	11.35	8.58	1.3	78	14.7	72
8	BM RP_Margot	2.92	175	5.50	16.07	3.1	186	17.1	6
9	BM Arbe	0.83	50	16.57	13.83	1.6	96	26.5	92
10	BM Santa Ana	1.11	67	7.06	7.86	1.9	114	13.4	71
11	BM Hidro	4.88	293	5.50	26.85	6.5	390	35.7	33

Fuente: El investigador.

NOTA: Las bocaminas Yanco y Abra son independientes

F. Costo del sistema de ventilación

Este análisis se realizó con el Ventsim donde se va calcular el costo total del sistema (costo de minado y costo energía).

Cuadro N° 73: Costo total de la red de Ventilación

Labor	Tipo de Pared	Ancho (m)	Alto (m)	Long. (m)	Costo Fijo (US$)	Costo US$/m	Costo de Minado (US$)	Costo anual de ventilación del conducto (US$)	Costo de Vida para el Conducto (US$)	Costo anual de Energía de la Red (US$)	Costo de Vida de la Red (US$)
RB Propuesto	Cond. Rimado	4.0		594	92	3,200	1,993,800	87,742	2,472,910	1,236,800	9,397,496
Crucero 1 NV-300	Average Blasted	4.0	4.0	34.00	4,500	950	36,800	2,150	48,567	1,234,894	7,429,002
Crucero 2NV-250	Average Blasted	4.0	4.0	43.60	4,500	950	45,920	104	46,463	1,236,661	7,448,645
Crucero 3NV-150	Average Blasted	4.0	4.0	150.80	4,500	950	147,760	380	149,863	1,236,336	7,548,594
Costo Total del sistema US$							2,224,280	90,376	2,717,803	1,236,800	6,912,725

Fuente: El investigador-Ventsim.

- Vida útil de 5 años.
- Tasa de descuento 10%.
- Costo de energía 0.052 US$/kw-hr

Cuadro N° 74: Costo anual de energía de la Red de ventilación.

Labor	Costo Anual de Energía de la Red US$
Raise Borer Propuesto	1,236,800
Crucero1 NV-440	1,234,894
Crucero2 NV-300	1,236,661
Crucero3 NV-250	1,236,336
Valor Máximo del Costo Anual de Ventilación	**1,236,800**

Fuente: El investigador.

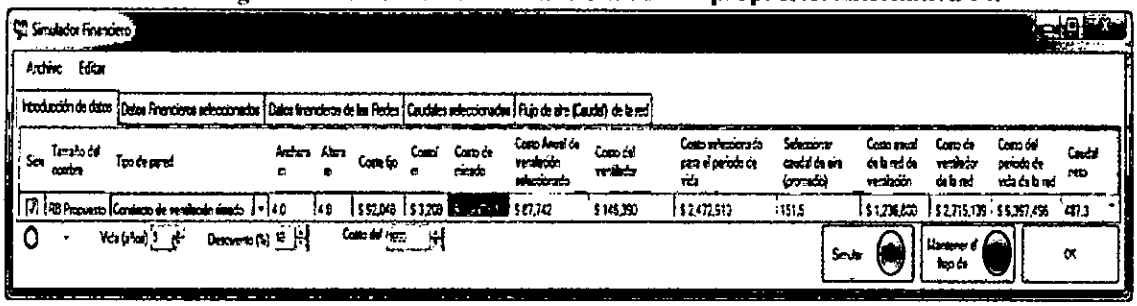
Cuadro N° 75: Costo de vida de la red.

Año	Inversión (US$)	Interés (%)	Flujo Anual (US$)
0	-2,224,280	0	2,224,280
1	-1,236,800	10%	1,124,364
2	-1,236,800	10%	1,022,149
3	-1,236,800	10%	929,226
4	-1,236,800	10%	844,751
5	-1,236,800	10%	767,955
VPN	**Valor Presente Neto (Costo de Vida de la Red) (US$)**		**6,912,725**

Fuente: El investigador.

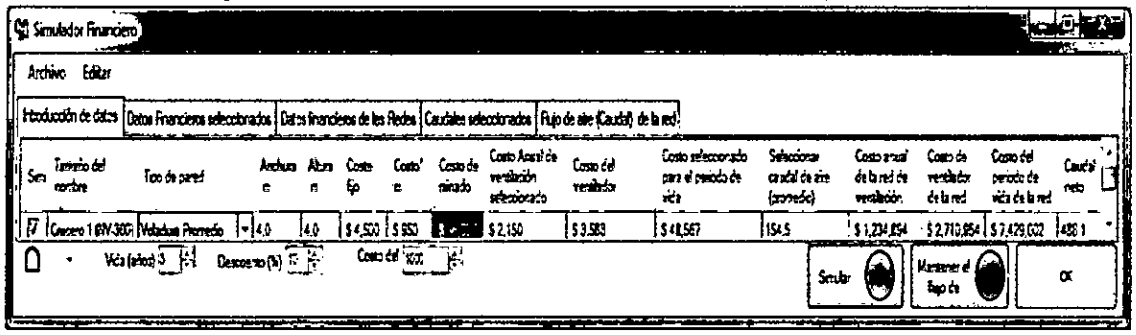
En las figuras siguientes se muestran los resultados de las simulaciones financieras generadas por el software Ventsim.

Figura N° 69: Simulación financiera del RB propuesto. Alternativa 04.



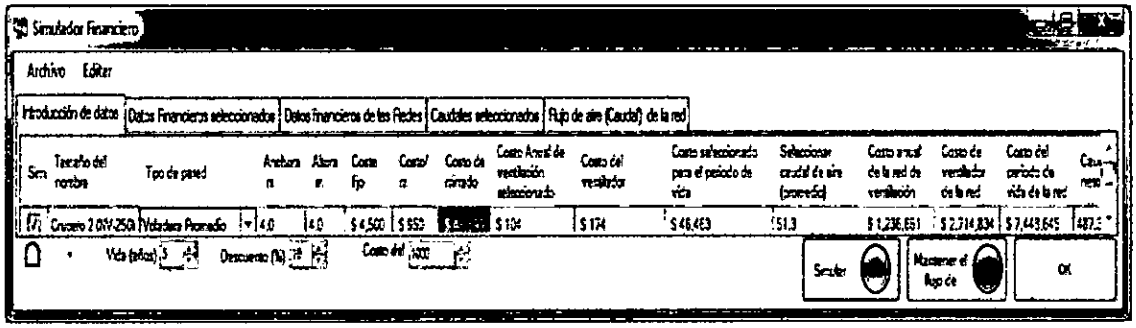
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 70: Simulación financiera del XC-01 (NV-300). Alternativa 04.



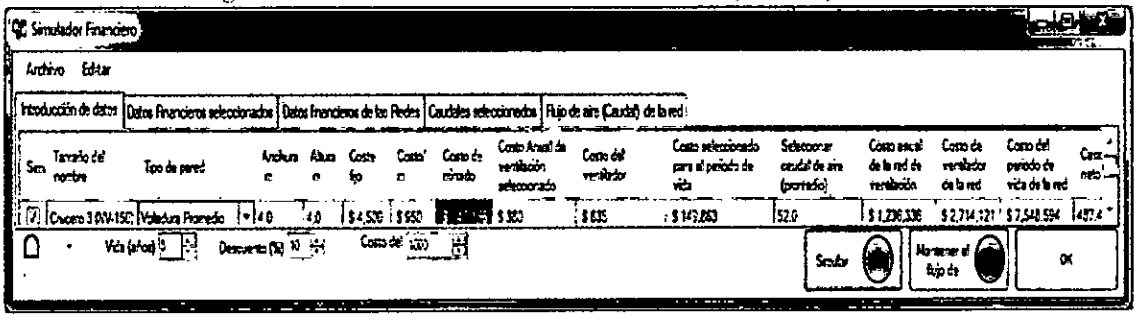
Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 71: Simulación financiera del XC-01 (NV-250). Alternativa 04.



Fuente: El investigador-Ventsim.

Figura N° 72: Simulación financiera del XC-01 (NV-300). Alternativa 04.



Fuente: El investigador-Ventsim.

G. Conclusiones de la Alternativa 4.

Extrayendo 600,000 cfm se llega a cubrir el 91% del aire requerido.

4.2.6. Contrastación de las hipótesis.

A continuación se indica las hipótesis tanto general como específico y su contrastación respectivas.

A. General.

- La aplicación del programa Ventsim influirá significativamente en el diseño y mejorara el sistema integral de ventilación de la compañía Minera Raura.

  Indudablemente la aplicación del programa Ventsim mejoro en un 95% el circuito de la Mina Raura; el resultado es notorio en distintas labores porque se puede diferenciar un antes y ahora con el aumento de las velocidades y disminución de la recirculación. Se puede observar circuitos donde hay flujo fresco, viciado y la distribución de los gases, polvo, etc. Esto es lo que respecta a corto plazo. Respecto a largo plazo todavía no se ejecuta el raise borer propuesto pero el Ventsim ya nos mostró una mejora y las comparaciones actual vs alternativa se indican en la tabla correspondiente a las alternativas indicadas en el ítem anterior (resultados). [24]

B. Específico.

- La efectividad de los parámetros que considera el programa Ventsim para el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura, es favorable.

  Los parámetros que utiliza el programa se han introducido con la mayor cautela porque de ello dependen los resultados por ejemplo el

[24] VER ITEM: Alternativas del sistema de solución–**cuadro; Comparación de velocidades.**

costo de energía por Kw-hr, la densidad del aire, altitud, presión barométrica, costo unitario de labores horizontales-verticales, tasa de interés.

Estamos hablando en términos de alta inversión por eso se han revisado todo los parámetros y están validados por los responsables correspondientes de la Mina Raura.

- Con la aplicación de los procedimientos del programa, el Ventsim mejorara el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.

  Como se indicó anteriormente en hipótesis general mejorara el sistema de ventilación con el uso correcto de los procedimientos del programa que son modelamiento, calibración y simulación estos se han realizado con mayor precisión y cautela. Alcanzando un error de +-10% que está dentro del rango permitido.

- No existe recirculación de aire viciado o enrarecido después del diseño del sistema de ventilación con el Ventsim, en los ambientes de trabajo.

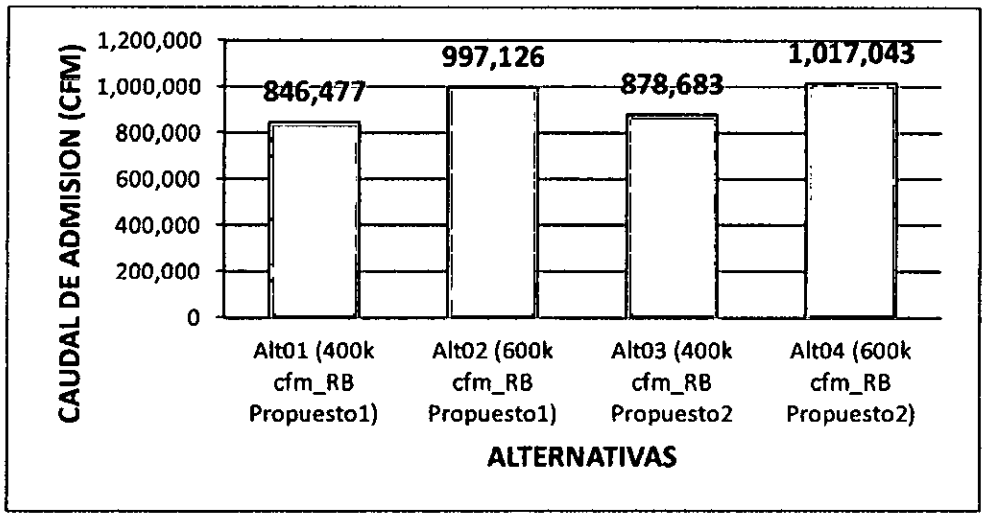
  Es cierto, no existe recirculación de aire viciado en su totalidad después del diseño de circuitos; esto se observa en las simulaciones con el programa Ventsim.

4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.3.1. Análisis de alternativas propuestas vs el sistema

En la figura N° 73 se presenta la comparación de los caudales por alternativa, en donde el requerimiento de aire del sistema de ventilación es 1, 208,747 cfm.

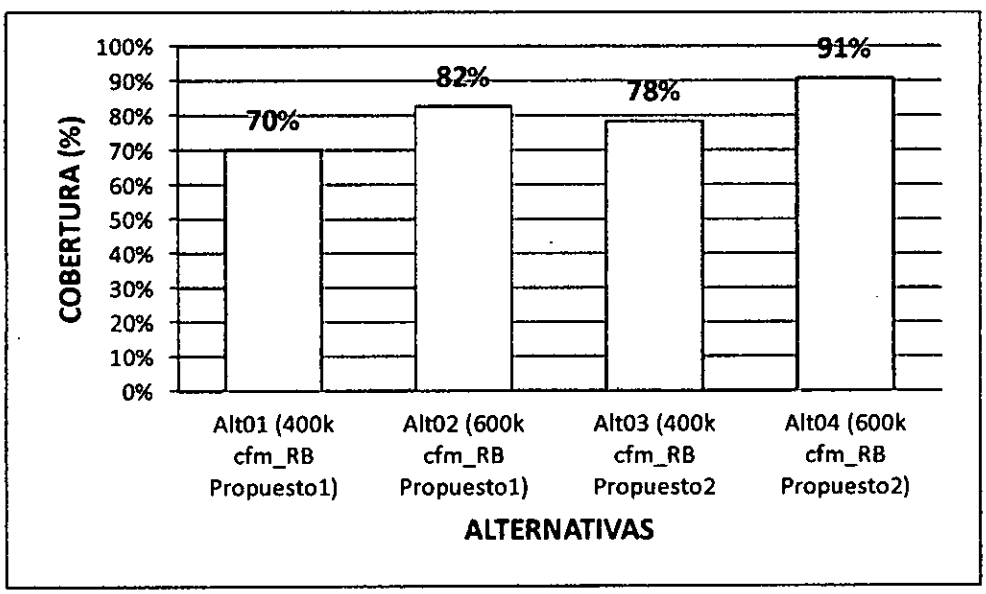
Figura N° 73: comparación de balance de aire de las alternativas propuestas.



Fuente: El investigador.

En la figura N° 74 se presenta la comparación de la cobertura del sistema con las 4 alternativas que se propone para mejorar las condiciones ambientales de la mina.

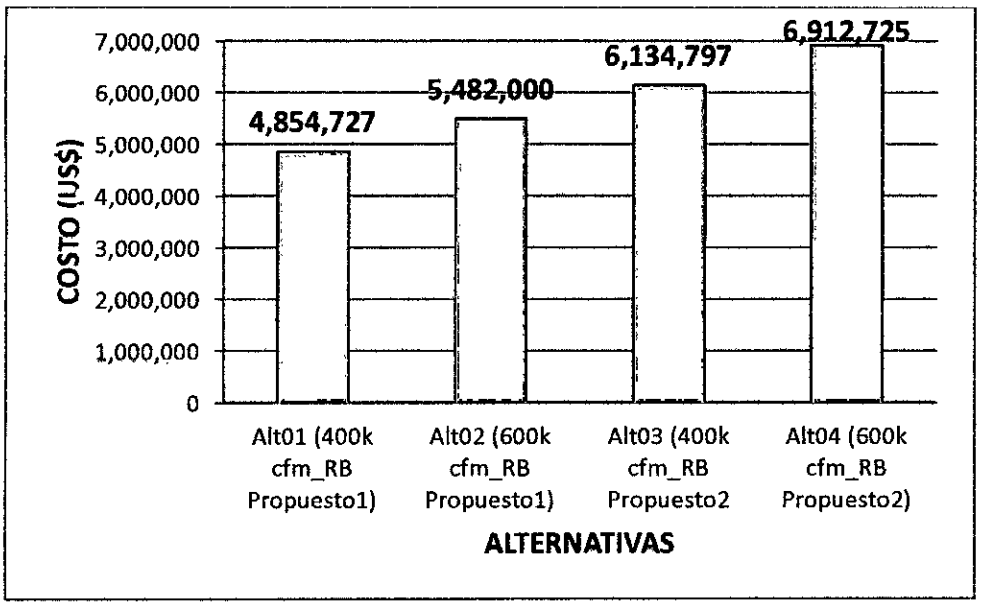
Figura N° 74: Comparación de cobertura de aire de las alternativas propuestas.



Fuente: El investigador

En la figura N° 75 se muestra la comparación de los costos del sistema de ventilación; que incluye el costo de construcción y energía (costo de minado y costo de operación).

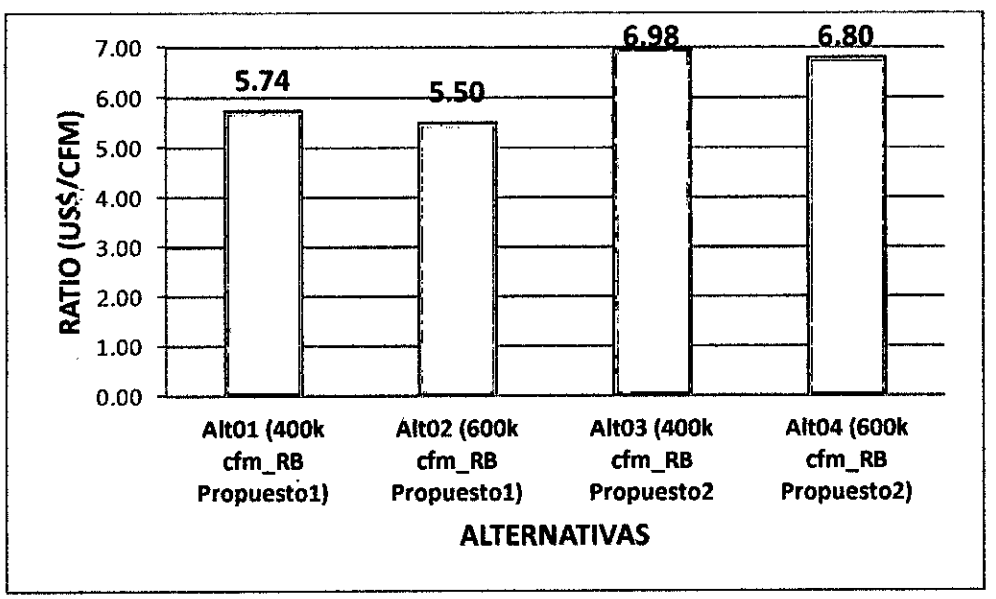
Figura N° 75: comparación de los costos del sistema de ventilación de las alternativas propuestas.



Fuente: El investigador.

En la figura N° 76 se muestra la comparación de los ratios (US$/cfm) por cada alternativa propuesto:

Figura N° 76: Comparación de los ratios de las alternativas propuestas.



Fuente: El investigador.

La comparación de las alternativas versus caudal de ingreso, cobertura, costo total y ratio; se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 76: Resumen de las alternativas propuestas.

ALTERNATIVAS	CAUDAL DE ADMISION (cfm)	COBERTURA (%)	COSTO TOTAL (US$)	RATIO (US$/cfm)
Alt01 (400k cfm_RB Propuesto1)	846,477	70%	4,854,727	5.74
Alt02 (600k cfm_RB Propuesto1)	997,126	82%	5,482,000	5.50
Alt03 (400k cfm_RB Propuesto2	878,683	78%	6,134,797	6.98
Alt04 (600k cfm_RB.Propuesto2)	1,017,043	91%	6,912,725	6.80

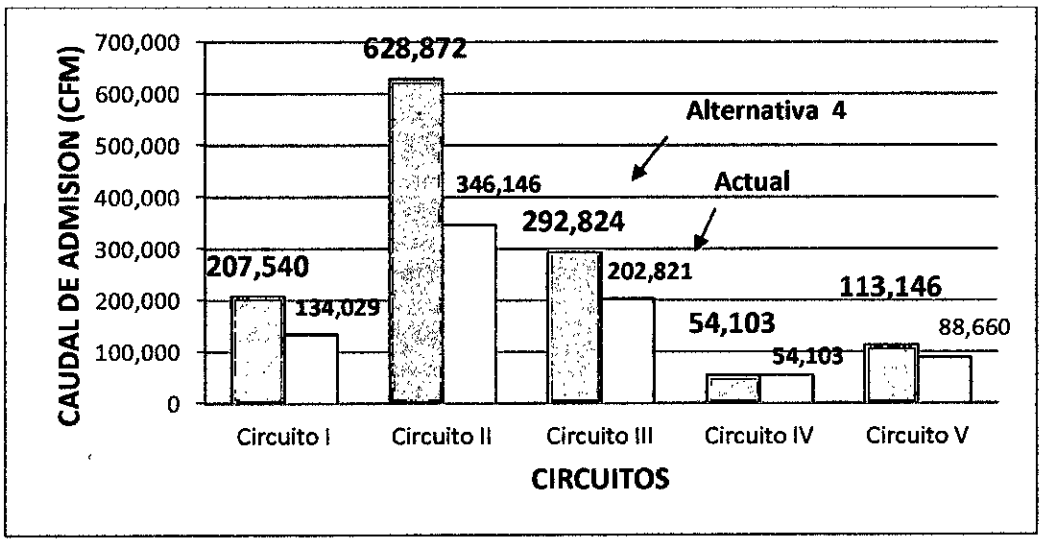
Fuente: El investigador.

- La alternativa 01 alcanza un balance general de aire de 846,477 cfm, una cobertura del 70%, con un costo del sistema de ventilación que incluye el costo de construcción y energía durante 5 años con una tasa de descuento de 10%, a valor presente neto de $ 4, 854,727; esta alternativa tiene un ratio de 5.74 $/cfm.
- La alternativa 02 alcanza un balance general de aire de 997,126 cfm, una cobertura del 82%, con un costo del sistema de ventilación que incluye el costo de construcción y energía durante 5 años con una tasa de descuento de 10%, a valor presente neto de $ 5, 482,000; esta alternativa tiene un ratio de 5.50 $/cfm.
- La alternativa 03 alcanza un balance general de aire de 997,126 cfm, una cobertura del 78%, con un costo del sistema de ventilación que incluye el costo de construcción y energía durante 5 años con una tasa de descuento de 10%, a valor presente neto de $ 6, 134,797; esta alternativa tiene un ratio de 6.98 $/cfm.
- La alternativa 04 alcanza un balance general de aire de 997,126 cfm, una cobertura del 91%, con un costo del sistema de ventilación que incluye el costo de construcción y energía durante 5 años con una tasa de descuento de 10%, a valor presente neto de $ 6, 912,725; esta alternativa tiene un ratio de 6.80 $/cfm.

4.3.2. Análisis de detalle de la alternativa 4

En la figura N° 77 se presenta la comparación de los caudales que genera la alternativa 4, con respecto a los 5 circuitos de ventilación se indica también el actual.

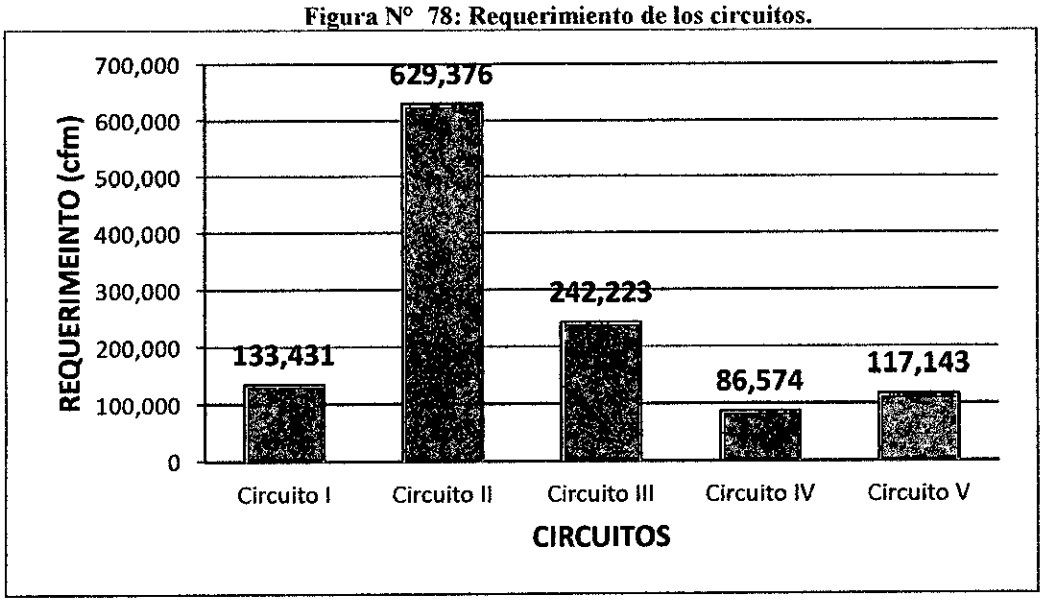
Figura N° 77: comparación de balance de aire de la alternativa 4 y circuitos.



Fuente: El investigador.

En la figura N° 78 se presenta el requerimiento de aire para cada circuito del sistema.

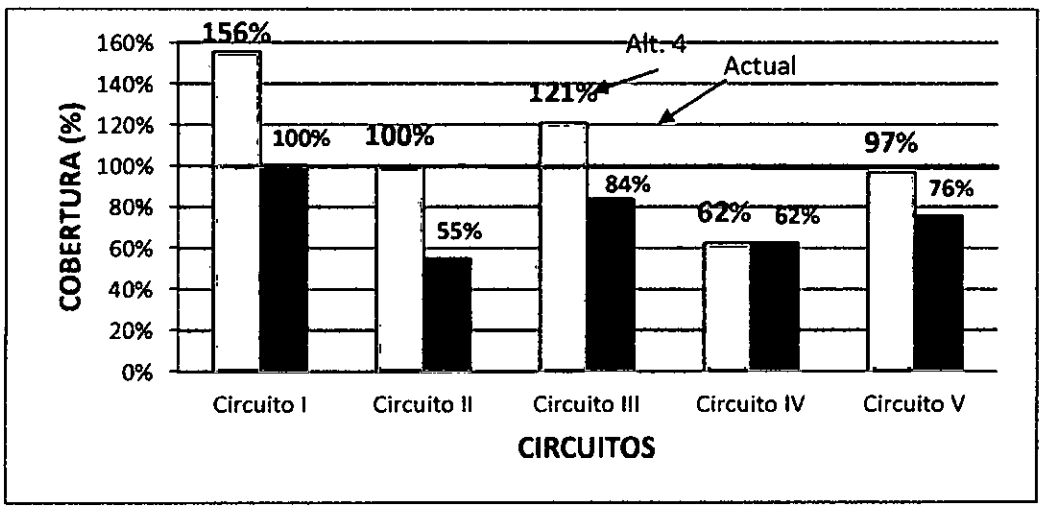
Figura N° 78: Requerimiento de los circuitos.



Fuente: El investigador.

En la figura N° 79 se presenta la cobertura que se alcanza con la alternativa 4 en cada circuito del sistema, se indica también el actual.

Figura N° 79: Comparación de cobertura de aire de la alternativa 4 y circuitos



Fuente: El investigador.

El resumen de la comparación de la alternativa 4 y los circuitos se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 75: Resumen de la alternativa 4 propuesto con los circuitos.

ALTERNATIVA 4	CAUDAL DE ADMISION Actual (cfm)	CAUDAL DE ADMISION ALT_04 (cfm)	REQUERIMIENTO (cfm)	COBERTURA ACTUAL (%)	COBERTURA ALT_04 (%)
Circuito I	134,029	207,540	133,431	100%	156%
Circuito II	346,146	628,872	629,376	55%	100%
Circuito III	202,821	292,824	242,223	84%	121%
Circuito IV	54,103	54,103	86,574	62%	62%
Circuito V	88,660	113,146	117,143	76%	97%

Fuente: El investigador.

- Circuito I con la alternativa 4 alcanza un balance general de aire de 207,540 cfm (134,029 cfm-actual), una cobertura del 156%.
- Circuito II con la alternativa 4 alcanza un balance general de aire de 628,872 cfm (346,146 cfm-actual), una cobertura del 100%.
- Circuito III con la alternativa 4 alcanza un balance general de aire de 292,824 cfm (202,821 cfm-actual), una cobertura del 121%.

- Circuito IV se mantiene igual con esta alternativa debida que es un circuito independiente y la ventilación es buena en este circuito.
- Circuito V con la alternativa 4 alcanza un balance general de aire de 113,146 cfm (88,660 cfm-actual), una cobertura del 97%.

4.3.3. Curva característica de la Mina

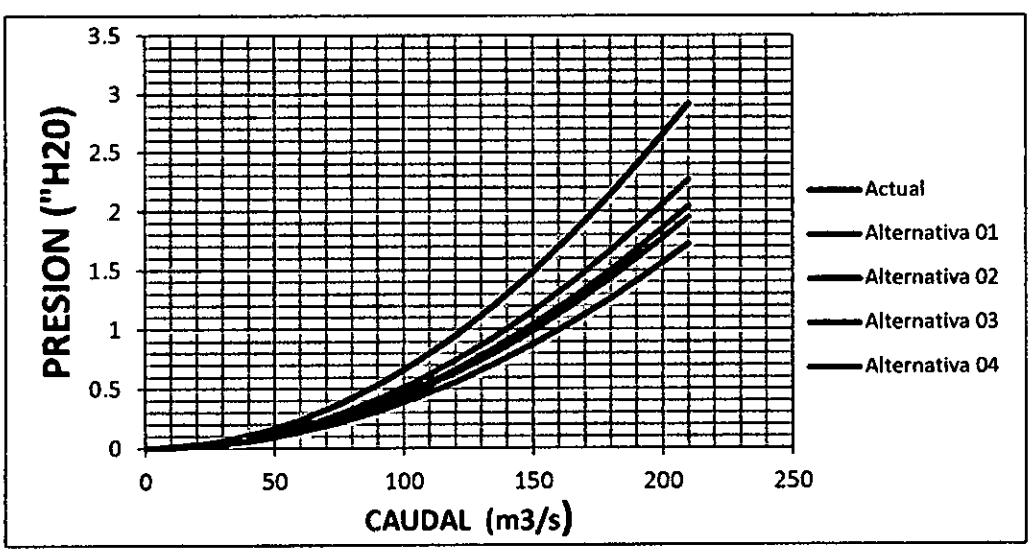
A continuación se va comparar la curva característica de la mina de las 4 alternativas, el sistema actual y su respectivo gráfico.

Cuadro N° 76: Datos para la curva.

Caudal Ingreso	Actual		Alternativa 01		Alternativa 02		Alternativa 03		Alternativa 04	
m3/s	Pa	Pulg. H2O	Pa	Pulg. H2O	Pa	Pulg. H2O	Pa	Pulg. H2O	Pa	Pulg. H2O
1	0.02	0.000	0.01	0.000	0.01	0.000	0.01	0.000	0.01	0.000
30	14.86	0.060	10.39	0.042	8.76	0.035	11.55	0.046	9.93	0.040
60	59.44	0.238	41.54	0.167	35.03	0.140	46.19	0.185	39.71	0.159
90	133.73	0.536	93.47	0.375	78.81	0.316	103.92	0.417	89.33	0.358
120	237.74	0.953	166.18	0.666	140.11	0.562	184.75	0.741	158.83	0.637
150	371.48	1.490	259.65	1.041	218.93	0.878	288.68	1.158	248.18	0.995
180	534.92	2.145	373.90	1.499	315.25	1.264	415.69	1.667	357.37	1.433
210	728.09	2.920	508.91	2.041	429.09	1.721	565.80	2.269	486.42	1.951
Resiste.	0.0165 (Ns2/m8)		0.0115 (Ns2/m8)		0.0097 (Ns2/m8)		0.0128 (Ns2/m8)		0.0110 (Ns2/m8)	

Fuente: El investigador.

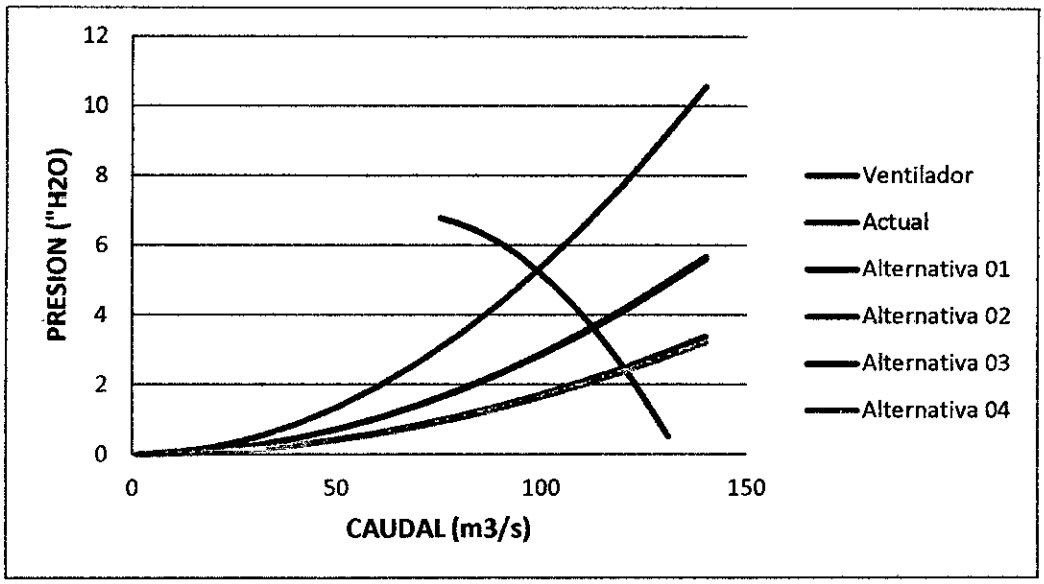
Figura N° 80: Curva de la mina.



Fuente: El investigador.

En la figura anterior se observa curva característica de la mina, que viene caracterizado por caída de presión $=R*Q^2$. La grafica representa las cuatro alternativas planteadas caudal versus presión.

Figura N° 81: Curva de la Mina y un ventilador.



Fuente: El investigador.

La figura anterior representa curva característica de un ventilador propuesto versus curva característica de la mina, vemos que intersectan por lo tanto el ventilador es la adecuada para el sistema.

4.4. APORTE DEL TESISTA

Antes de que el programa Ventsim (Australia) llegue a Sudamérica se utilizaba programas de ventilación como VnetPC (EE.UU), Vuma (Sudáfrica), pero estos programas no son dinámicos y solo es en 2D, no solucionaban algunos circuitos y servían solo para vistas unifilares.

El Ventsim es en 3D, fácil su aplicación, es dinámico y realiza simulaciones de distintos escenarios (voladura, equipos diesel, DMP, gases, termodinámica, contaminantes, polvo, etc.). Por ende la compañía minera Raura opta por este programa.

Mi persona especialista en el programa Ventsim visual avanzado, en primer instancia realizo capacitación al personal de ventilación incluido jefe de ventilación.

Segundo se trabajó en lo que respecta levantamiento de campo que consistían en medir la velocidad del aire, presión barométrica, presión diferencial, temperatura, humedad relativa, densidad del aire en toda la mina.

Con la ayuda del Ventsim y la experiencia de haber solucionado en distintas minas en el Perú, Bolivia y Nicaragua se plantearon distintos escenarios a corto plazo, mediando plazo y largo plazo, en esta tesis solo se indica a largo plazo.

A corto plazo se solucionó la recirculaciones en algunas labores, redistribuyendo su circuito que solo tenía hasta la fecha un solo circuito ahora es de 5 circuitos esto con ayuda del Ventsim que cuenta con herramientas muy importantes.

A largo plazo se planteó 4 alternativas ahora ellos optaran por la cuarta alternativa que es la más factible construir un Raise borer desde la profundidad (zona donde en unos años se concentrara la operación al 70% del total) hasta la superficie, algunos consultores Chilenas y Canadienses plantearon alternativas como realizar el desquinche con el Raise Climber (ALIMAK) para ampliar el diámetro de los RBs, construir RBs internas en la profundidad y utilizar como como extractores los existentes, algo que no es factible desde el punto de vista técnico y económico.

Nosotros entregamos soluciones factibles y con su análisis de Capex (costo capital-inversión-minado) y Opex (costo de operación-energía).

CONCLUSIONES

- Actualmente la mina opera como un solo circuito de ventilación entre todos los bloques, esa condición propicia la recirculación de aire contaminado y la distribución inadecuada de aire entre circuitos. La implementación adecuada del nuevo circuito con el uso del programa Ventsim garantiza cero recirculaciones, con rutas definidas de entrada de aire limpio y salida de aire viciado, cabe indicar si hacemos una comparación de variación del escenario actual y el uso del programa más la construcción del RB-Catuva se llega al 95% de mejora
- La mina tiene una inercia de ventilación en los niveles superiores debido a la baja resistencia y la ventilación natural. La dificultad esencial para la ventilación de los niveles inferiores, es tomar aire fresco de los niveles superiores para dirigirlos hacia las labores de interés (niveles inferiores) y el encausamiento respectivo de los flujos, sin recircular el aire viciado; es decir, el objetivo es evitar la recirculación.
- Según la profundización de la mina las condiciones ambientales irán agudizándose, siendo necesario definir un sistema de ventilación forzada, como se propone en las alternativas.
- Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se plantea la posibilidad de cambiar el tipo de explosivo de dinamita a anfo y el incremento de la periodicidad de las voladuras, esto debido a que no habrá deficiencias de aire al interior de la mina. La mina se dividió en 5 circuitos de ventilación. La ubicación y los caudales disponibles y requeridos.

- Para definir apropiadamente el sistema de ventilación, hay que conocer bien la red de ventilación y su dimensionamiento. El caudal necesario y la presión que se genera en la mina serán los datos primordiales para el dimensionamiento de los equipos; por eso, un buen cálculo de la red de ventilación implica un diseño más adecuado de los ventiladores.
- Raura es una de las primeras minas en el Perú que hace uso de las herramientas avanzadas de simulación de sistemas de ventilación en minas subterráneas, haciendo la implementación de su mina completamente en 3D, con simulación dinámica de flujos de aire y variables; además de adquirir el software Ventsim y capacitar a gran parte del personal relacionado con la ventilación, incluyendo personal de planeamiento, topografía, servicios de mina y jefes.
- La alternativa 4 cuenta con la ventaja de tener mayor cobertura de 91% con relación a las otras tres alternativas; alternativa 3, alternativa 2 y alternativa 1. Donde se llega a alcanzar una cobertura de 78%, 82% y 70% respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Retirar los ventiladores del NV-630, ubicados en el RB-36 y el RB-123, estos no influyen mucho en el circuito. En el mismo nivel construir una puerta hermetizada para evitar la recirculación en el XC-115 SE, correspondiente a la alternativa 4.
- Así mismo retirar el Ventilador del NV-340, ubicado en el RB-74 y dejar libre la chimenea para el ingreso de aire fresco, esto es para el caso de las alternativas 2 y 4, una vez que se pone en funcionamiento el RB Catuva propuesto.
- Realizar los XCs que comunique al RB Catuva propuesto 1 en los Niveles: NV-200, NV-250, NV-300 y NV-440, para las alternativas 1 y 2, y para RB Catuva propuesto 2 en los Niveles: NV-150, NV-250 y NV-300, para las alternativas 3 y 4.
- Llevar un registro mensual, digital y público de la ubicación y los cambios de los ventiladores al interior de la mina, con el fin de mantener actualizado la red y mostrar un modelo confiable.
- Se deben estandarizar los procedimientos de medición para aforos principales y secundarios. La medición de los ventiladores, con el fin de conocer y controlar el aire que ingresa y sale de la mina, permite garantizar un balance y distribución de los flujos en forma proporcional a los requerimientos de la mina.
- Se recomienda implementar instrumentos completos para cada indicador y monitorear periódicamente las labores ciegas y confinadas, cumplir con los

horarios de disparo y la activación correcta de los ventiladores, en especial las secundarias.

- Se recomienda la actualización de los planos de ventilación isométrico y el control sistemático de las temperaturas, presiones y flujos de aire a través de todo el circuito de ventilación. Es una tarea fundamental en toda operación minera y la única manera de garantizar que se está haciendo un trabajo de ingeniería serio y responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIRTEC S.A. (2013). "*Software ventiladores-Manual técnico de ventiladores para la Minería*" (última versión), Lima-Perú.
2. ANGEL TAPIA, Fernando. (2012). "*Ventilación de minas subterráneas*", Diplomado (BS-grupo), Lima-Perú.
3. CALIZAYA, Felipe. (2008). "Ventilación de Minas", Curso Internacional Especializado en Minería (Intercade), Lima-Perú.
4. GÓMEZ E. G. (2007). "*Caracterización del sistema principal de ventilación*", Colombia.
5. GONZALO DIAZ, Abarca. (2007). "*Sistema general de Ventilación*", Colombia.
6. INUS LABUSCHAGNE. (2011). "Curso de ventilación intermedio de minas", Consulting Alternatives SAC, Lima-Perú.
7. JIMENEZ ASCANIO, Pablo. (2010). "Ventilación de minas subterráneas y túneles", versión 3.0, Lima-Perú.
8. LAPUERTA, Magín & ARMAS, Octavio. (2006). "*Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento*", Madrid-España.
9. LUQUE CABAL, Vicente. (1980). "*Manual de ventilación de Minas*" tomo I, Madrid-España.
10. LUQUE CABAL, Vicente. (1980). "*Manual de ventilación de Minas*" tomo II, Madrid-España.
11. McFARLANE & DAVIDSON. (1996). "*Ventilation Engineering*", Belfast – Ireland.

12. McPherson J. Malcolm, (1988). "*Subsurface Ventilation Engineering*", Australia.

13. NOVITZKY Alejandro. (1962). "*Ventilación de minas*", Buenos Aires-Argentina.

14. PARODY PONTON, Luis. (2009). "*Estudio de optimización del sistema de ventilación y de las condiciones de seguridad de la mina Orquídea*", Tesis. Santander-Colombia.

15. SALVADOR ESCODA S.A. (2010). "Manual práctico de ventilación", 2da edición, Barcelona-España.

16. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA. (2008). "*Guía metodológica de seguridad para proyecto de ventilación de minas*", Chile.

17. STEWART, Craig. (2009). "*Ventsim Visual Avanzado*", Tercera Edición (Versión 3.0), Australia.

18. STEWART, Craig. (2012). "*Curso de ventilación de Minas-VentSim Premium; creador del software*", Lima-Perú.

19. UBILLA THOMPSON, Patricio. (2012). "*Ingeniería en ventilación y filtración de aire*", Segunda edición, Lima-Perú.

20. Decreto supremo DS 055-2010-EM, Decreto supremo que aprueba el reglamento de seguridad y salud ocupacional y otras medidas complementarias en minería. Lima-Perú.

ANEXOS

LISTA DE ANEXO

1. Matriz de consistencia
2. Plano de ubicación y accesibilidad de la mina Raura
3. Software de ventilación Ventsim.
4. Trabajo en fases (estudio y proyecto)
5. Valores de longitud equivalentes para casos prácticos
6. Límites de exposición ocupacional para agentes químicos
7. Estándar - puerta de ventilación mecanizada
8. Estándar - estructura marco para cortina de ventilación
9. Estándar - tapón con puerta de ventilación.
10. Estándar - ubicación de ventilador y arrancador
11. Estándar de ventilación sección 4.0x4.10m (1)
12. Estándar de ventilación sección 4.0x4.10m.(2)
13. Plano Isométrico Circuito I
14. Plano Isométrico Circuito II
15. Plano Isométrico Circuito III.
16. Plano Isométrico Circuito IV
17. Plano Isométrico Circuito V

ANEXO Nº 01

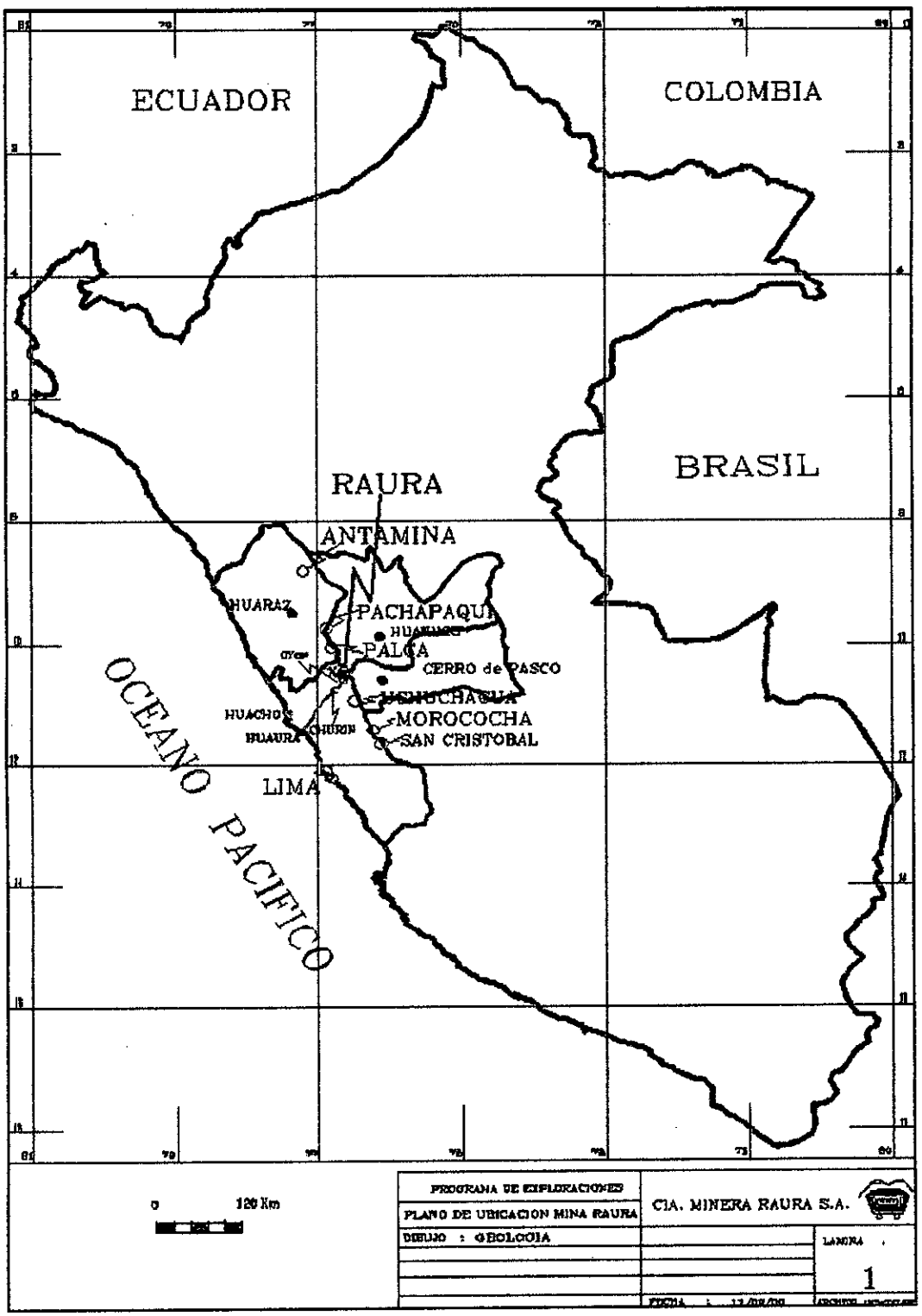
MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "APLICACIÓN DEL PROGRAMA VENTSIM PARA EL DISEÑO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN, COMPAÑÍA MINERA RAURA S.A. - AÑO 2013".

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL: ¿La aplicación del programa Ventsim mejorara el sistema de ventilación en la compañía Minera Raura – Año 2013? **ESPECIFICO:** • ¿Existe consideraciones desfavorables de ventilación en la compañía Minera Raura-Año 2013? • ¿Qué parámetros considera el programa Ventsim en el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura-Año 2013? • ¿Cuáles son los procedimientos de aplicación de programa Ventsim para mejorar el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura-Año 2013?	**GENERAL:** ¿Diseñar y mejorar el sistema de ventilación aplicando el programa Ventsim en la compañía Minera Raura – Año 2013? **ESPECIFICO:** • ¿Analizar las consideraciones actuales del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura-Año 2013? • Determinar si los parámetros que considera el programa Ventsim son efectivos para el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura. • Determinar los procedimientos de aplicación de programa Ventsim para mejorar el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.	**GENERAL:** La aplicación del programa Ventsim permitirá el diseño y mejorara el sistema integral de ventilación de la compañía Minera Raura. **ESPECIFICO:** • No existe recirculación de aire viciado o enrarecido después del diseño del sistema de ventilación con el Ventsim, en los ambientes de trabajo. • La efectividad de los parámetros que considera el programa Ventsim para el diseño del sistema de ventilación de la compañía Minera Raura, es favorable. • Con la aplicación de los procedimientos del programa, el Ventsim mejorara el sistema de ventilación de la compañía Minera Raura.	**INDEPENDIENTE:** Aplicación del programa Ventsim. **DEPENDIENTE:** Diseño y mejoramiento del sistema de ventilación.	**TIPO DE INVESTIGACION:** • Experimental **MÉTODO** • Descriptivo-Explicativo **POBLACIÓN:** Son correspondientes a los datos de las variables de ventilación constituida por las labores de la mina Raura (Circuito Global). **MUESTRA:** • 13 Niveles principales • Raise borers • Tajeos • 13 Bocaminas • 57 Ventiladores. **INSTRUMENTOS:** • Anemómetro portátil • Anemómetro (sonda de molinete e hilo caliente) • Distanciometro • Tubos de pitot • Detector de gases. **TÉCNICA:** • Observación de campo

ANEXO Nº 02

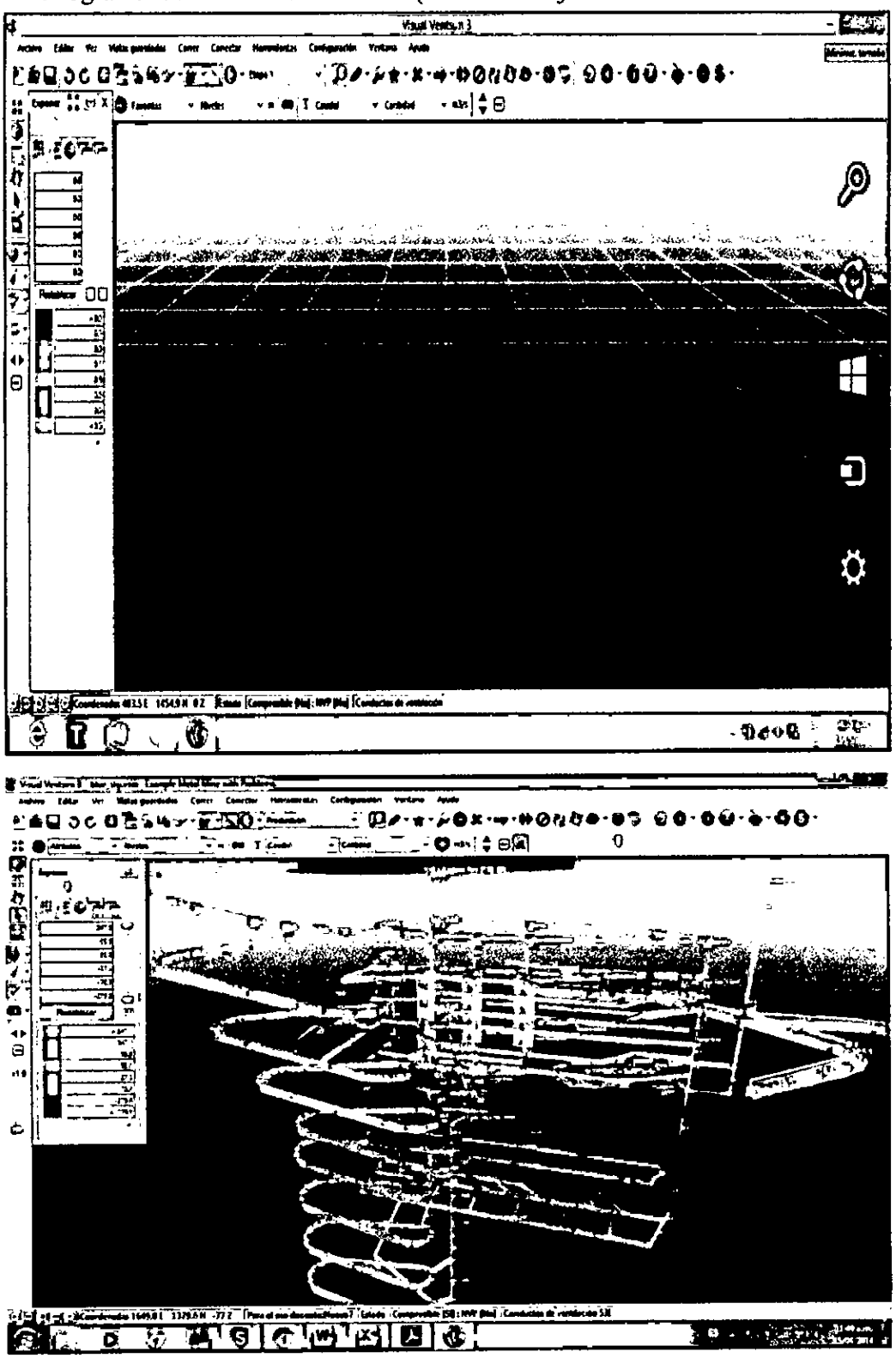
PLANO DE UBICACIÓN Y DE ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE TRABAJO
MINA RAURA



Fuente: Área Geología-Mina Raura.

ANEXO Nº 03

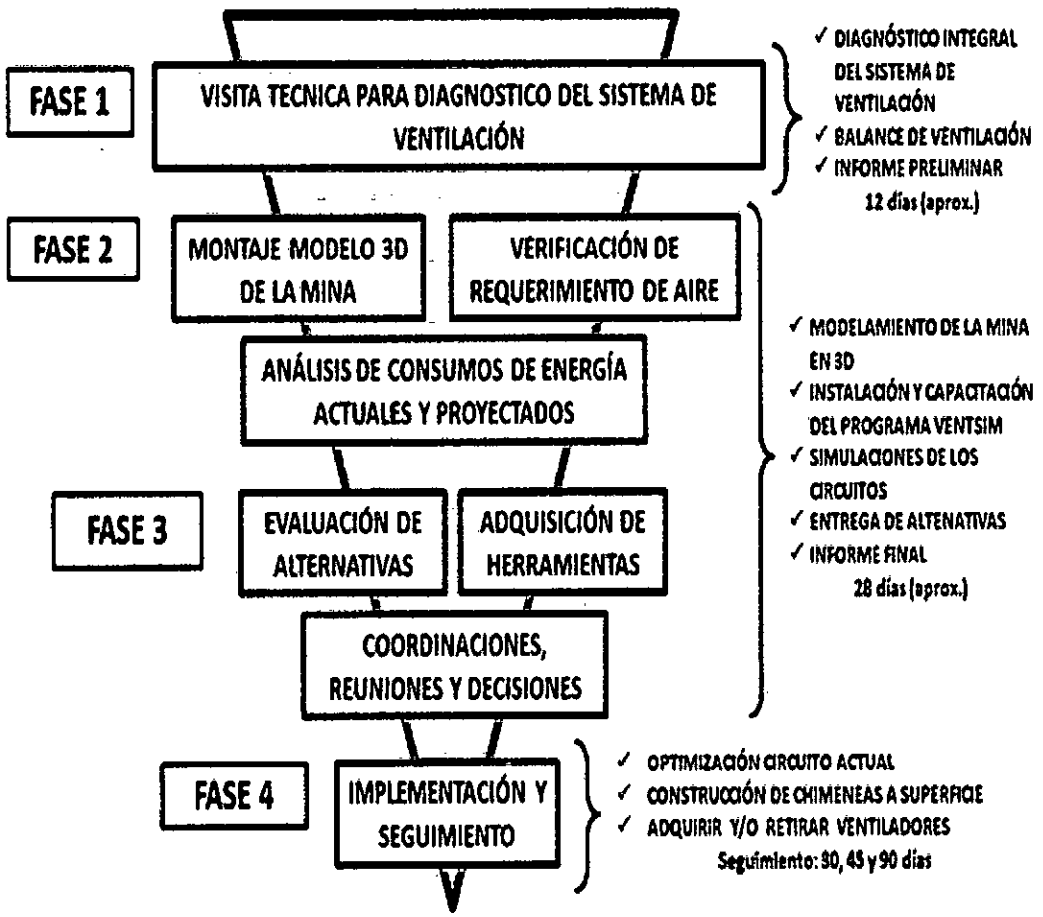
Programa de ventilación Ventsim (área de trabajo/simulación de una mina.



Fuente: Ventsim-el investigador

ANEXO Nº 04

TRABAJO EN FASES (ESTUDIO Y PROYECTO)



Fuente: El investigador

ANEXO Nº 05

VALORES DE LONGITUD EQUIVALENTES PARA CASOS PRACTICOS

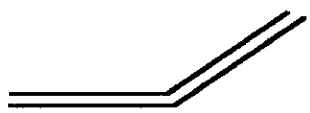
a) Curvas redondeadas:

L' = 0.5 pies

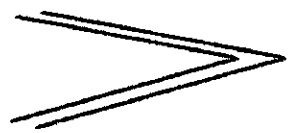
L' = 3 pies

L' = 1 pie

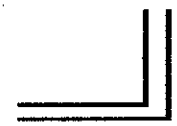
b) Curvas quebradas:



L' = 15 pies

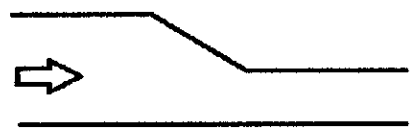


L' = 150 pies



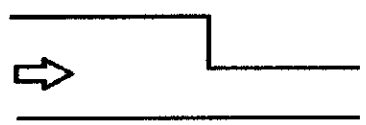
L' = 70 pies

c) Contracción gradual:



L' = 1 pie

d) Contracción abrupta o brusca:

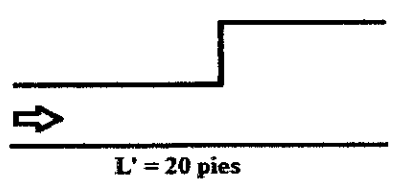


L' = 10 pies

e) Expansión gradual:

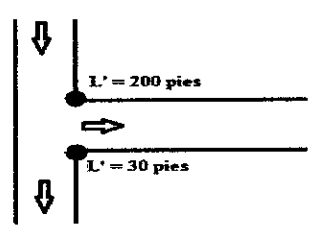
L' = 1 pie

f) Expansión brusca o abrupta:

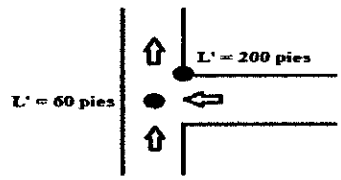


L' = 20 pies

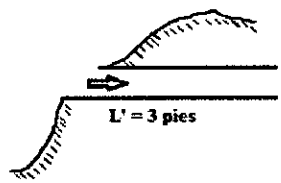
g) Bifurcación:



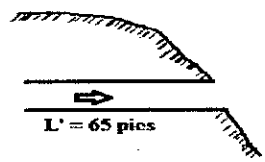
h) Juntura o congruencia:



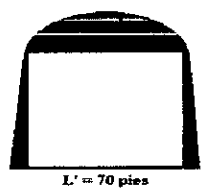
i) Entrada a bocamina:



j) Salida o descarga:



k) Abertura para puerta:



l) Carro o jaula:

Item	TIPO	Long. Equivalente	
		(Pies)	(m)
1	Curva obtusa redondeada	0.5	0.2
2	Curva aguda redondeada	3	1
3	Curva de ángulo recto redondeada	1	0.3
4	Curva obtusa quebrada	15	5
5	Curva aguda quebrada	150	46
6	Curva de ángulo recto quebrado	70	21
7	Contracción gradual	1	0.3
8	Contracción abrupta	10	3
9	Expansión abrupta	20	6
10	Expansión gradual	1	0.3
11	Bifurcación	230	70
12	Juntura	90	27
13	Entrada	3	1
14	Descarga	65	20
15	Abertura para puerta	70	21
16	Carro o jaula ocupando el 20% dela sección	100	30
17	Carro o jaula ocupando el 40% de la sección	500	152

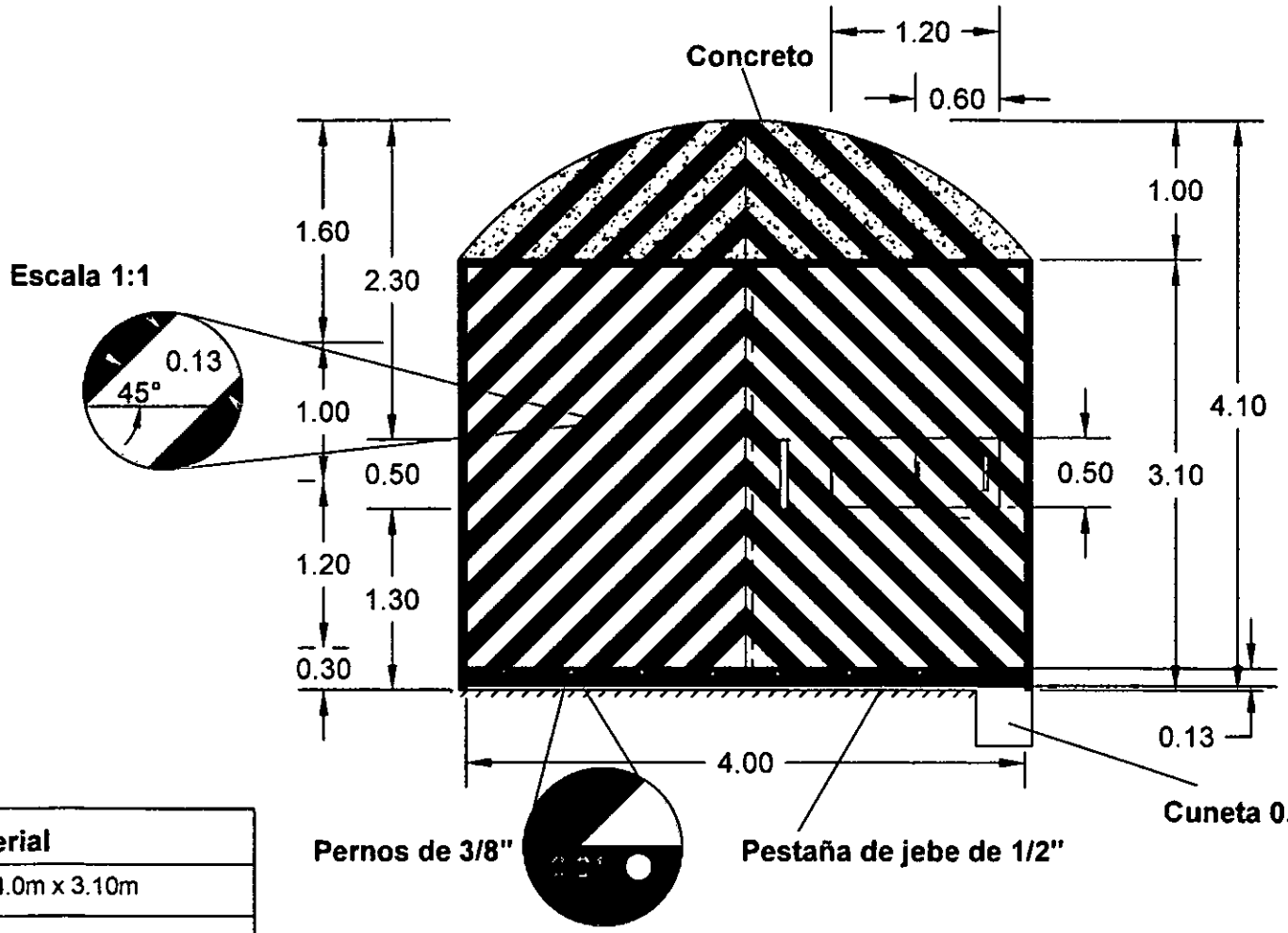
ANEXO Nº 06

LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS

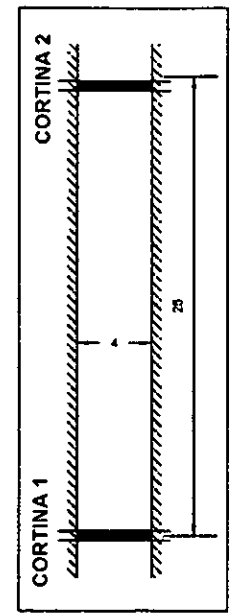
Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional					
		TWA		STEL		Techo (C)	
1	Acetona	500	ppm	750	ppm		
2	Ácido Acético	10	ppm	15	ppm		
3	Ácido Clorhídrico					2	ppm
4	Ácido Nitrico	2	ppm	4	ppm		
5	Acido Sulfhídrico (H2S)	10	ppm	15	ppm		
6	Amoníaco Anhidro	25	ppm	35	ppm		
7	Anhídrido Sulfuroso (SO2)	2	ppm	5	ppm		
8	Antimonio	0.5	mg/m^3				
9	Arseniato de Plomo	0.15	mg/m^3				
10	Arseniato de Calcio	1	mg/m^3				
11	Arsénico (can)	0.01	mg/m^3 A1				
12	Benceno (can)	0.5	ppm (p)				
13	Cianuro (Como CN)					5	mg/m3 (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)					4.7	ppm(p)
15	Cloro	0.5	ppm	0.1	ppm		
16	Clorobenceno	10	ppm	20	ppm		
17	Cloroformo	10	ppm				
18	Cobre (humo)	0.2	mg/m^3				
19	Cobre (polvo/neblina)	1	mg/m^3				
20	Dióxido de Carbono	5000	ppm	30000	ppm		
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5	ppm		
22	Éter Etílico	400	ppm	500	ppm		
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)					2.5	mg/m^3
24	Formaldehído					0.3	ppm
25	Fosgeno	0.1	ppm				
26	Gasolina	500	ppm				
27	Hidrógeno (H)					5000	ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01	mg/m^3				
29	Humo de Óxido Fémico	5	mg/m^3				
30	Manganeso	0.2	mg/m^3				
31	Mercurio	0.025	mg/m3(p)				
32	Metano (CH_4)					5000	ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25	ppm				
34	Mónoxido de Nitrogeno	25	ppm				
35	Neblina de acido sulfúrico	1	mg/m^3	3	mg/m^3		
36	Oxígeno (O_2)	19.5	%			22.5	%
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05	ppm				
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08	ppm				
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1	ppm				
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2	ppm				
41	Plomo	0.05	mg/m^3				
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4	mg/m^3				
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9	mg/m^3				
44	Polvo inhalable (1)	10	mg/m^3				
45	Polvo respirable (1)	3	mg/m^3				
46	Selenio	0.2	mg/m^3				
47	Sílice Cristalino Respirable (Cristobalita)	0.05	mg/m^3				
48	Sílice Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05	mg/m^3				
49	Sílice Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05	mg/m^3				
50	Sílice Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1	mg/m^3				
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1	mg/m3(p)				
52	Telurio	0.1	mg/m^3				
53	Tetracloruro de Carbono	5	ppm(p)	10	ppm(p)		
54	Tolueno	50	ppm(p)				
55	Uranio, Compuesto solubles e insolubles	0.2	mg/m^3	0.6	mg/m^3		
56	Vanadio, Polvos de V_2O_5	0.5	mg/m^3				
57	Vanadio, Humos metálicos de V_2O_5	0.1	mg/m^3				
58	Zinc (humo)	2	mg/m^3	10	mg/m^3		

Fuente: D.S. 055-2010-EM/Anexo N° 4.

ESTÁNDAR PUERTA DE VENTILACIÓN MINA MECANIZADA



VISTA EN PLANTA
Ubicación de Cortinas
Escala 1:40

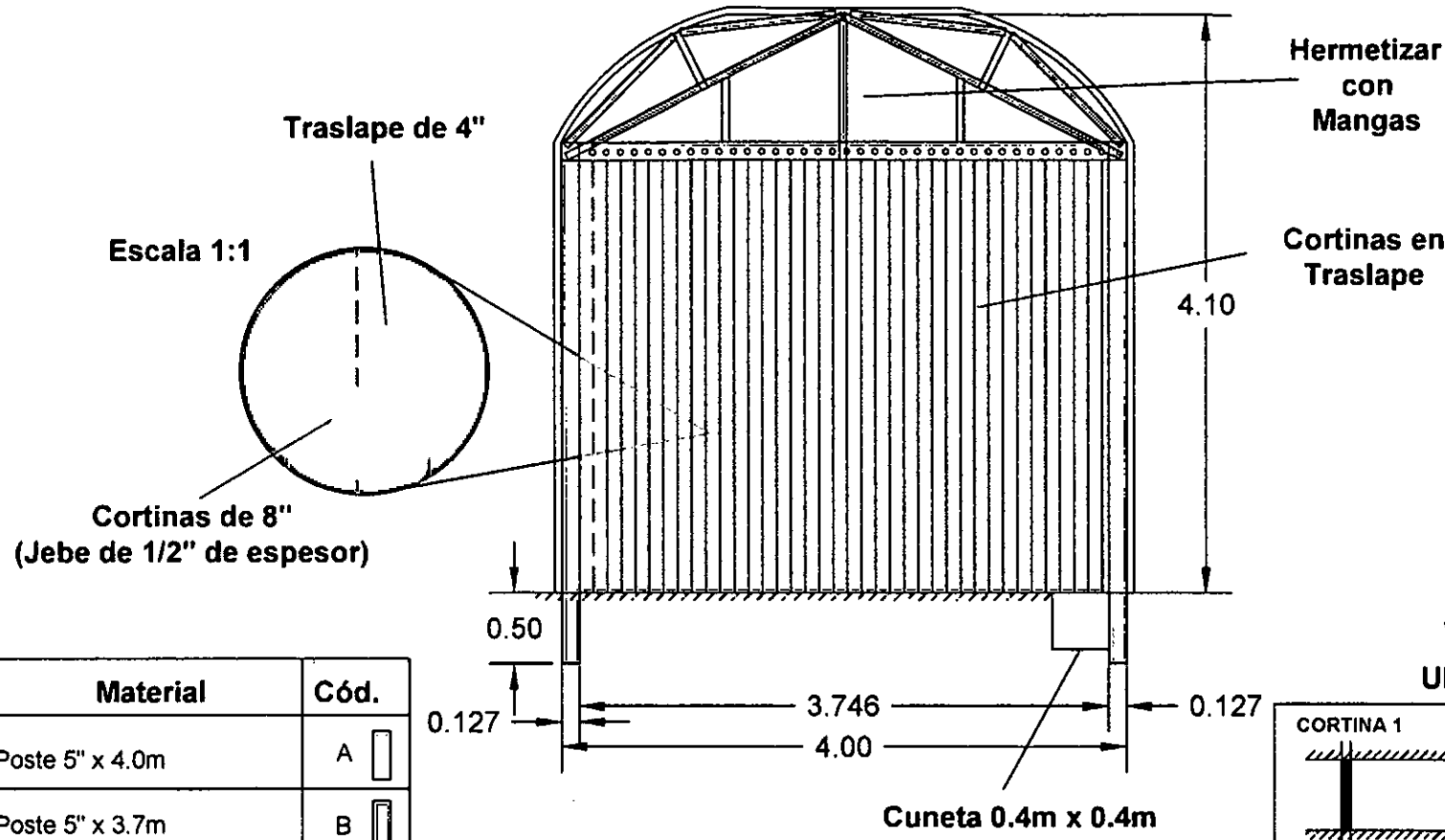


Cant.	Material
01	Puerta de 2 hojas 4.0m x 3.10m
08	Pernos de 3/8"
Nota:	Con 3 bisagras en cada puerta de 4", 1 manija de 5", cierre hermético con goma de 1/2" de espesor.
	Material:Tubo cuadrado $1\frac{1}{2}$" revestido con placa LAC $\frac{1}{32}$"
	Acabado: Pintura esmalte sintético (amarillo oro y negro)

Noova7
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

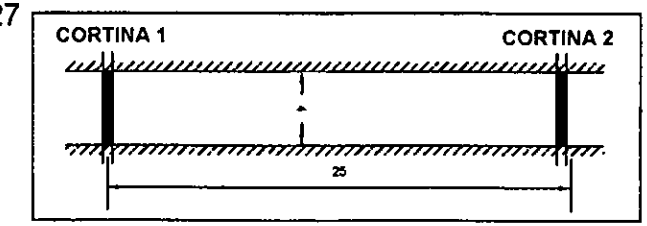
DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013	SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.
DIBUJÓ	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013	Consultora de Ventilación y Servicios Mina
REVISÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013	ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN PUERTA DE VENTILACIÓN MINA MECANIZADA
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013	PLANO: S-001
ESCALA	ESCALA	1/50	REV.: 0
FECHA	FECHA	JUL.2013	

ESTÁNDAR ESTRUCTURA MARCO PARA CORTINA DE VENTILACIÓN



VISTA EN PLANTA

Ubicación de Cortinas



Escala 1:40

Cant.	Material	Cód.
01	Poste 5" x 4.0m	A
02	Poste 5" x 3.7m	B
02	Listón 2" x 2" x 2.2m	C
01	Listón 2" x 2" x 1.0m	D
04	Listón 2" x 2" x 0.45m	E
04	Listón 2" x 2" x 1,1m	F
Nota:	Hermetizar con mangas de polipropileno	

Noova7
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
DIBUJÓ	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013
REVISÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
ESCALA	ESCALA	1/50
FECHA	FECHA	JUL.2013

SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.

Consultora de Ventilación y Servicios Mina

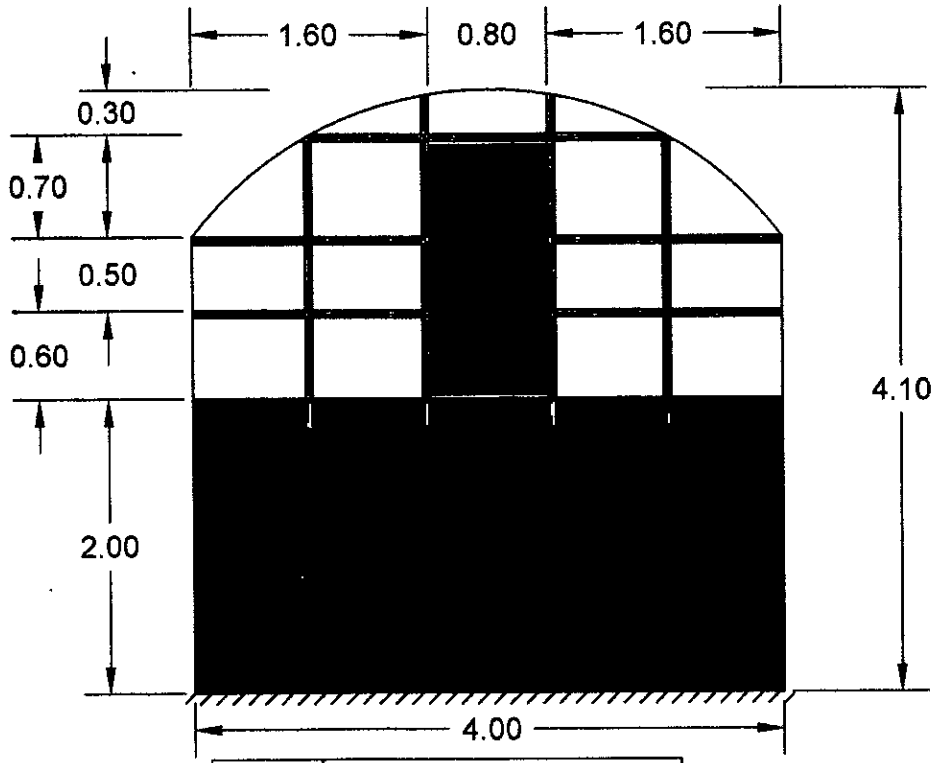
ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN
ESTRUCTURA MARCO
PARA CORTINA DE VENTILACIÓN

PLANO: S–002

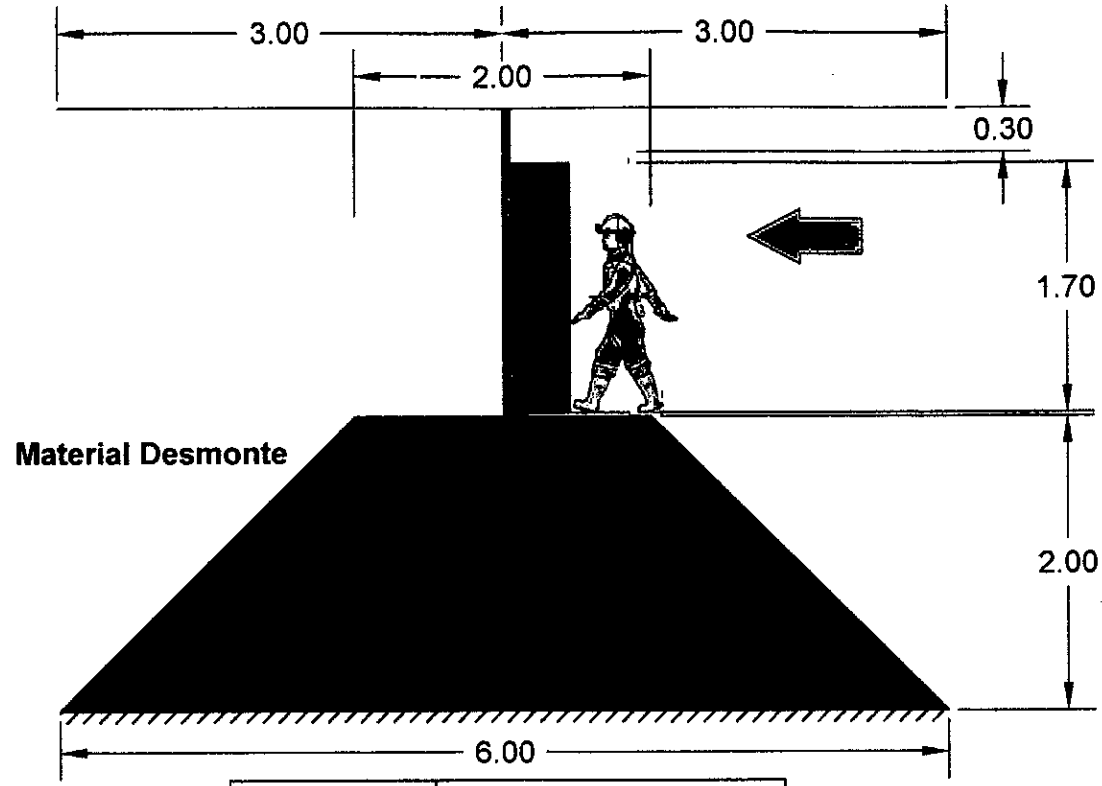
REV.: 0

ESTÁNDAR TAPÓN CON PUERTA DE VENTILACIÓN

Vista Frontal



Vista Transversal



Cant.	Material
04	Postes 4" x 2.20m
05	Listones 2 x 2 x 4m
01	Puerta 0.80m x 1.70m
Nota:	Hermetizar con mangas de polipropileno

Nota	Material desmonte
Base	6 metros
Plataforma	2 metros
Altura	2 metros

Noova7
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
BIDUJÓ	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013
REVISÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
ESCALA	ESCALA	1/50
FECHA	FECHA	JUL.2013

SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.

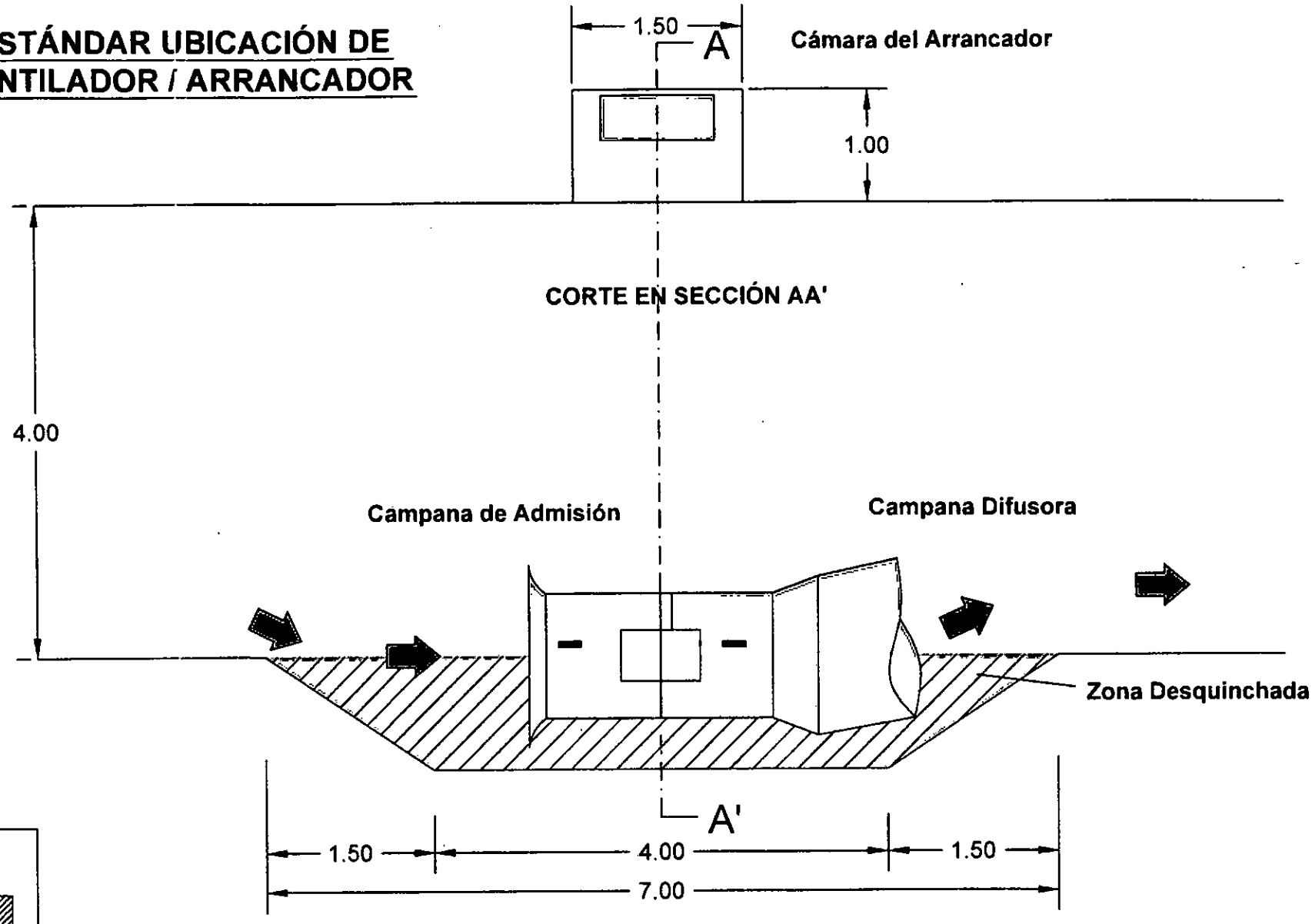
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN TAPÓN CON PUERTA DE VENTILACIÓN

PLANO: S–003

REV.: 0

ESTÁNDAR UBICACIÓN DE VENTILADOR / ARRANCADOR



Leyenda:

Zona desquinchada

Dirección de Flujo

Noova 7
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
BIDUJÓ	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013
REVISO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
ESCALA	ESCALA	1/50
FECHA	FECHA	JUL.2013

SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.

Consultora de Ventilación y Servicios Mina

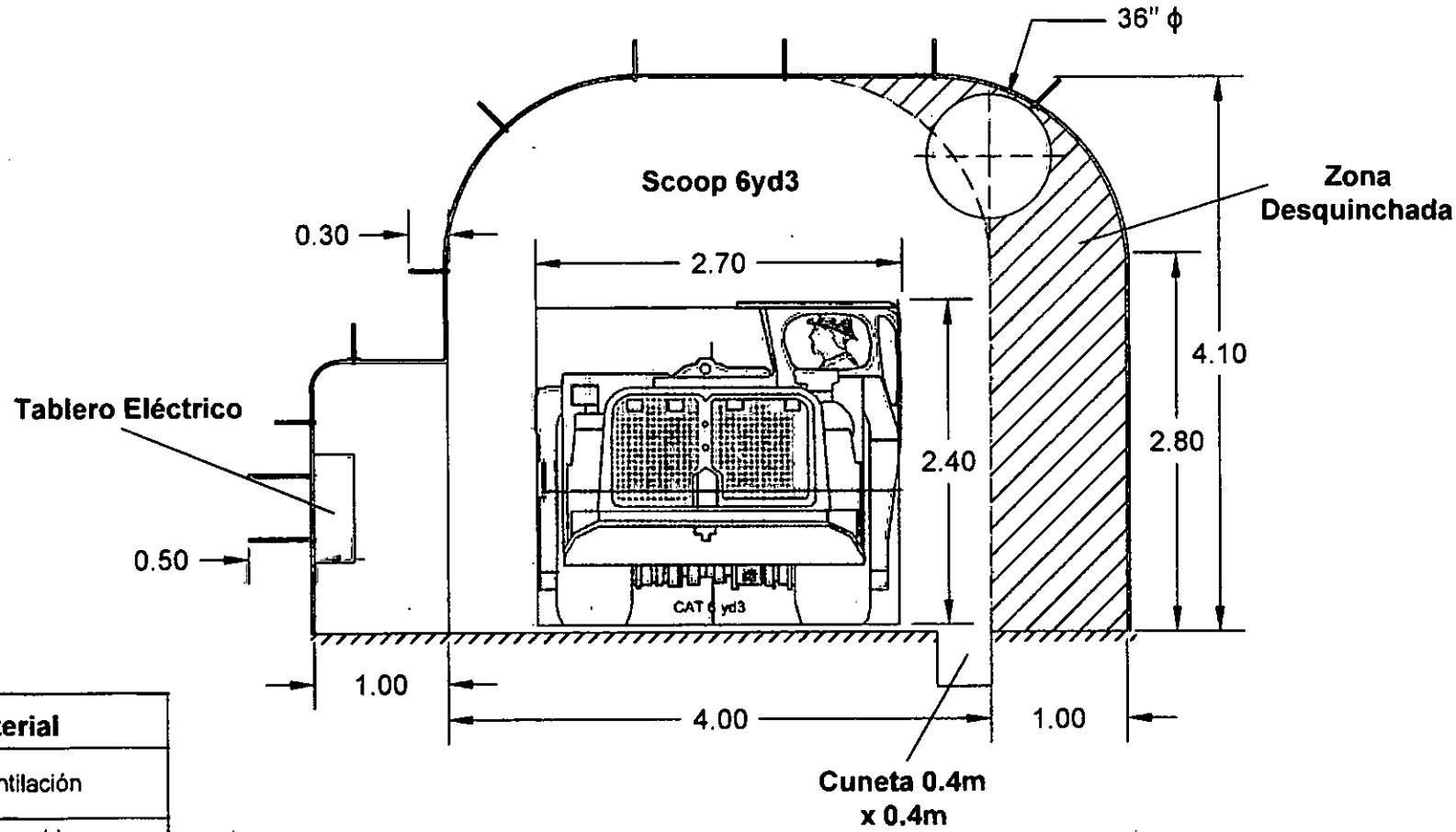
ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN UBICACIÓN DE VENTILADOR Y ARRANCADOR

PLANO: S-C04

REV.: 0

ESTÁNDAR DE DISTRIBUCIÓN DE TALADROS

VISTA FRONTAL



Cant.	Material
01	Manga de Ventilación
07	Taladros para cable eléctrico de 0.30 m
01	Tablero eléctrico.
01	Ventilador: 36" ϕ 30,000 cfm
	Zona desquinchada

Noova7
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
DIBUJO	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013
REVISÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
ESCALA	ESCALA	1/50
FECHA	FECHA	JUL.2013

SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.

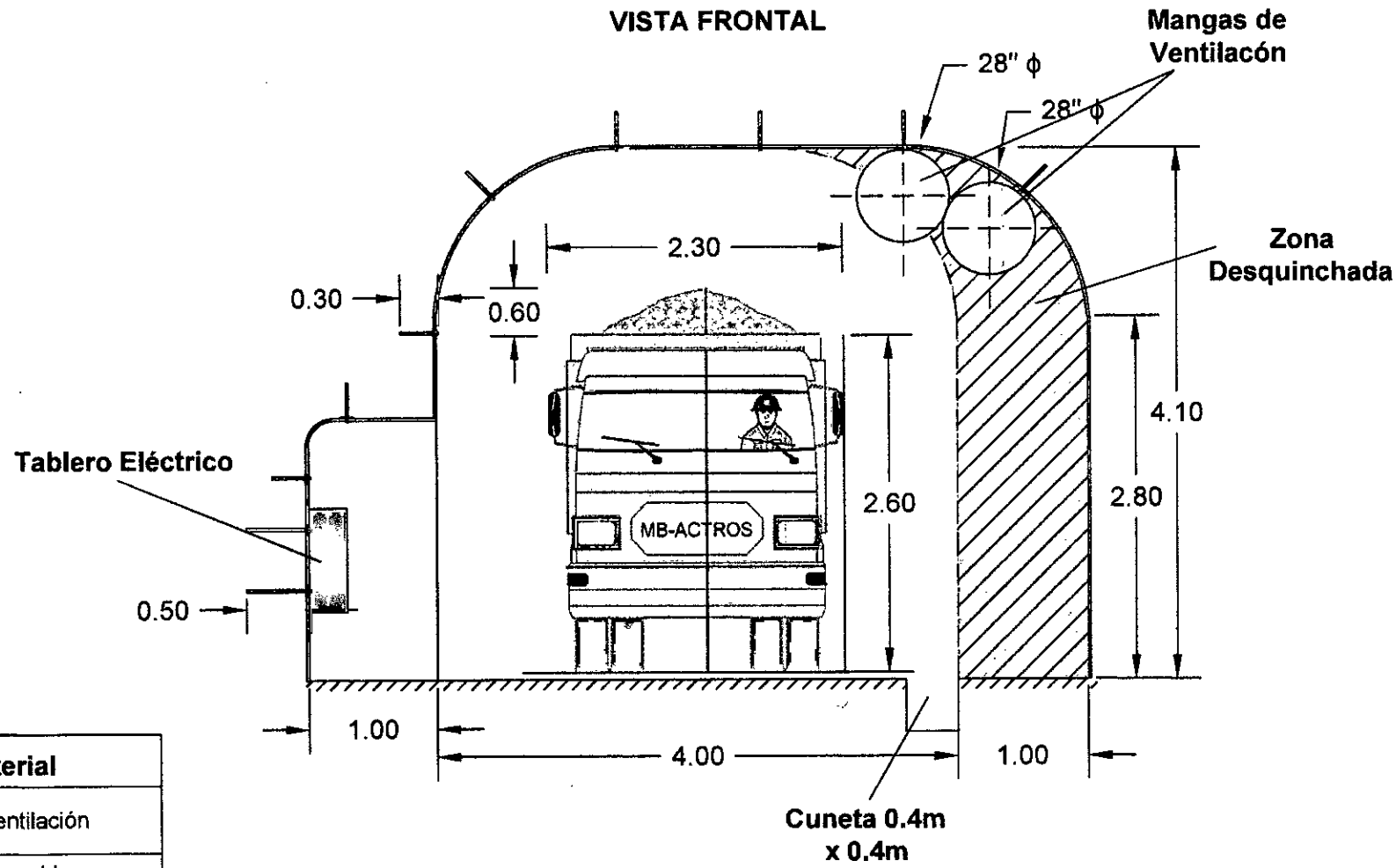
Consultora de Ventilación y Servicios Mina

ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN
SECCIÓN TÍPICA 4.0mx4.1m

PLANO: S-005

REV.: 0

ESTÁNDAR DE DISTRIBUCIÓN DE TALADROS



Cant.	Material
02	Mangas de Ventilación
07	Taladros para cable eléctrico de 0.30 m
01	Tablero eléctrico.
01	Ventilador: 36" ϕ 30,000 cfm
	Zona desquinchada

Noova7 Consultora de Ventilación y Servicios Mina

DISEÑO	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
BIDUJÓ	ING. ERIX AYALA T.	JUL.2013
REVISÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
APROBÓ	ING. ALFREDO LEON L.	JUL.2013
ESCALA	ESCALA	1/50
FECHA	FECHA	JUL.2013

SOLUCIONES INFORMÁTICAS NOOVA 7 S.A.C.

Consultora de Ventilación y Servicios Mina

ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN SECCIÓN TÍPICA 4.0mx4.1m

PLANO: S-006

REV.: 0